



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR AGROFORESTERIE

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

THÈSE DE DOCTORAT

Mention : Agriculture et foresterie tropicale

Spécialité : Entomologie agricole

**Description des peuplements de fourmis associés aux
vergers de cacaoyers dans la région du Haut-Sassandra
(Côte d'Ivoire) et tests de prédation de quelques espèces**

CANDIDATE

Nom : YACOUBA

Prénoms : Hanna-Thérèse
Bissiri

JURY

Président : M. BOYE Mambé Auguste-Denise, Professeur Titulaire,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Directeur : M. SORO Senan, Professeur Titulaire, Université Jean
LOROUGNON GUEDE

Rapporteurs : M. TRA Bi Crolaud Sylvain, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

M. DOSSO Kanvaly, Maître de Conférences, Université
NANGUI ABROGOUA

Examineurs : M. ZRO Bi Gohi Ferdinand, Maître de Conférences, Université
Jean LOROUGNON GUEDE

M. TUO Yalamoussa, Maître de Conférences, Université
Péléforo GON COULIBALY

**Soutenue publiquement
le 17 Mai 2025**

TABLE DES MATIERES

DÉDICACE.....	vi
REMERCIEMENTS	vii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	xi
LISTE DES TABLEAUX	xii
LISTE DES FIGURES	xiii
INTRODUCTION.....	1
PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITES	5
I. 1. MILIEU D'ÉTUDE	6
I.1.1. Localisation géographique	6
I.1.2. Climat.....	6
I.1.3. Relief.....	7
I.1.4. Végétation	7
I.1.5. Sols.....	8
I.2. CACAOYER.....	8
I.2.1. Origine et historique	8
I.2.2. Classification phylogénétique du cacaoyer	10
I.2.3. Ecologie du cacaoyer	10
I.2.4. Caractéristiques morphologiques du cacaoyer.....	11
I.2.4.1. Feuilles du cacaoyer	12
I.2.4.2. Fruit du cacaoyer	12
I.2.4.3. Tronc du cacaoyer.....	13
I.2.4.4. Branches du cacaoyer	14
I.2.4.5. Système racinaire du cacaoyer.....	14

I.2.4.6. Système de reproduction du cacaoyer	15
I.2.5. Variétés de cacaoyer et leur localisation.....	15
I.2.6. Importance et usage du cacao	16
1.2.7. Quelques pressions parasitaires de la culture du cacao	17
1.2.8. Ravageurs des fèves de cacao	19
I.3. FOURMIS	23
I.3.1. Description	23
I.3.2. Anatomie des fourmis	24
I.3.2.1. Morphologie externe de la fourmi	24
I.3.2.2. Morphologie interne de la fourmi	25
I.3.2.3. Glandes des fourmis	26
I.3.3. Cycle biologique des fourmis	27
I.3.4. Ecologie des fourmis.....	28
I.3.5. Importance agro-écologique des fourmis.....	29
DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES	27
II.1. MATERIEL	32
II.1.1. Matériel biologique.....	32
II.1.2. Matériel technique	32
II.2. METHODES	34
II.2.1. Choix des parcelles d'études	34
II.2.2. Collecte de données socio-entomologiques.....	35
II.2.3. Échantillonnage des fourmis.....	35
II.2.3.1. Installation des transects.....	36
II.2.3.2. Méthode des pièges fosses	37
II.2.3.3. Méthode du battage	38

II.2.3.4. Méthode des appâts alimentaires.....	38
II.2.3.5. Méthode de collectes manuelles.....	40
II.2.3.6. Identification des fourmis collectées.....	40
II.2.4. Détermination de l'influence des fourmis sur les ravageurs	40
II.2.4.1. Evaluation de l'effet des Oecophylles sur les attaques de ravageurs	40
II.2.4.2. Collecte des insectes ravageurs de fèves en zone de stockage.....	41
II.2.4.3. Evaluation du taux d'infestation des fèves par les ravageurs.....	42
II.2.4.4. Test de prédation des fourmis sur les ravageurs.....	43
II.2.5. Analyse des données de la myrmécofaune des différents vergers de cacao.....	44
II.2.5.1. Evaluation de l'efficacité de l'échantillonnage	44
II.2.5.1.1. Auto-similarité entre les transects	45
II.2.5.1.2. Courbes d'accumulations des espèces.....	45
II.2.5.1.3. Espèces uniques.....	45
II.2.5.1.4. Taux de recouvrement	46
II.2.5.2. Richesse spécifique	46
II.2.5.3. Abondance.....	46
II.2.5.4. Indice de Simpson	47
II.2.5.5. Equitabilité de Simpson	47
II.2.5.6. Analyse de variances.....	47
II.2.5.7. Analyse de classification hiérarchique ascendante	48
II.2.5.8. Carte auto organisatrice de Kohonen	48
TROISIEME PARTIE : RESULTATS & DISCUSSION	46
III.1. RESULTATS	51
III.1.1. CARACTERISATIQUE SOCIO-ENTOMOLOGIQUE DES VERGERS DE CACAOYERS DANS LA REGION DU HAUT-SASSANDRA	51
III.1.1.1. Typologie des producteurs, précédents culturels des cacaoyères et taille des vergers.....	51

III.1.1.2. Bioagresseurs des exploitations	54
III.1.1.3. Répartition des insectes selon le gradient d'âge des cacaoyers	54
III.1.1.4. Répartition des insectes en fonction de l'ensemble des classes d'âge confondues	55
III.1.1.5. Etat de santé des différentes classes d'âges des vergers	56
III.1.1.6. Type de traitement et répartition des pesticides dans les différentes classes d'âges des parcelles.....	57
III.1.2. DIVERSITÉ ET ABONDANCE DES FOURMIS ASSOCIÉES AUX VERGERS DE CACAOYERS ET AUX ENTREPÔTS DE STOCKAGES.....	59
III.1.2.1. Efficacité de l'échantillonnage.....	59
III.1.2.2. Principales caractéristiques des peuplements de fourmis	62
III.1.2.2.1. Richesse spécifique	62
III.1.2.2.2. Diversité spécifique et équitabilité des peuplements	62
III.1.2.2.3. Abondance des espèces	63
III.1.2.3. Composition spécifique des peuplements de fourmis dans les départements....	64
III.1.2.4. Complémentarité entre les peuplements de fourmis par catégorie de vergers...	66
III.1.2.5. Proportions totales des sous-familles de fourmis.....	68
III.1.2.6. Evolution des abondances de sous-familles en fonction de l'âge des vergers...	69
III.1.2.7. Abondances de fourmis selon la méthode d'échantillonnage et l'âge des vergers	70
III.1.2.8. Abondance des guildes fonctionnelles de fourmis.....	72
III.1.2.9. Profil de distribution des fourmis	73
III.1.2.10. Diversité des fourmis des entrepôts de stockage de cacao.....	81
III.1.2.10.1. Abondance des fourmis dans les entrepôts brousses.....	82
III.1.2.10.2. Abondance des fourmis en fonction des méthodes d'échantillonnage ..	83
III.1.2.10.3. Variation de l'abondance en fonction de la méthode d'échantillonnage	83
III.1.2.10.4. Abondance des sous-familles de fourmis dans des entrepôts de stockages	84

III.1.3. INFLUENCE DES FOURMIS PREDATRICES SUR LA DYNAMIQUE DES RAVAGEURS DU CACAOYER ET DES FÈVES DE CACAO.....	87
III.1.3.1. Proportion des dégâts et variation de l'abondance des attaques de ravageurs sur le feuillage des cacaoyers.....	87
III.1.3.2. Relation entre la présence des fourmis <i>Oecophylles</i> et les attaques de ravageurs	89
III.1.3.3. Relation entre la présence des fourmis <i>Oecophylles</i> et l'état des cabosses	90
III.1.3.4. Evolution des attaques des fèves de cacao par les ténébrions.....	91
III.1.3.5. Effet des attaques de <i>Tribolium castaneum</i> sur la masse des fèves	92
III.1.3.6. Effet de la prédation de <i>Tapinoma melanocephalum</i> sur <i>Tribolium castaneum</i> dans les pochons d'un kilogramme de cacao et dans les bacs	93
III.1.3.7. Effet de la prédation de <i>Tapinoma melanocephalum</i> sur les larves d' <i>Ephestia cautella</i> dans les pochons d'un kilogramme de cacao	94
III.2. DISCUSSION	96
CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	113
REFERENCES.....	118
ANNEXES	
PUBLICATION ISSUE DE LA THESE	

DÉDICACE

A mon père YACOUBA Solomani

A ma mère feu KAISSE Egnankoua Bertille

A ma sœur aînée feu YACOUBA Mariam Bissiri

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire à l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) en Agroforesterie de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE (UJLoG) a constitué une expérience très enrichissante, aussi bien sur le plan intellectuel que sur le plan humain. Elle a eu le concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner ma profonde gratitude.

Ainsi, mes premières mots de remerciement sont adressés à la gouvernance de UJLoG, qui a à sa tête le Professeur ADOHI KROU Viviane, dont le leadership éclairé, combiné à sa vision stratégique de développement, ont permis une amélioration significative des conditions d'apprentissage et de recherche à UJLoG. Aux Professeurs SORO Dogniméon et KONE Issiaka, respectivement Vice-président chargé de la Pédagogie, de la Recherche, de la Vie Universitaire et de l'Innovation Technologique et Vice-président chargé de la Planification, de la Programmation et des Relations Extérieures, je suis très reconnaissante pour leurs appuis constants aux efforts fournis par la Présidente, le Professeur ADOHI KROU Viviane, en vue du rayonnement de UJLoG.

A la suite de la gouvernance, il me plaît de remercier le Docteur KOUASSI Kouassi Clément, Maître de Conférences, Directeur de l'UFR Agroforesterie, pour avoir permis la réalisation de ce travail au sein de l'UFR. Aussi, son engagement constant en faveur de la qualité de la recherche a été une source de motivation particulière pour moi dans la réalisation de cette recherche. Aux côtés du Directeur de l'UFR Agroforesterie, le soutien du Professeur AYOLIE Koutoua, Directeur du laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole (APA), ne m'a jamais fait défaut chaque fois qu'il fallait donner une orientation à mon travail. Recevez cher Maître, mes sentiments de profonde reconnaissance.

A ce stade de mes remerciements, il est bon de souligner que ce travail n'aurait pu aboutir sans l'apport spécial du Professeur SORO Senan et de notre regretté Professeur YEO Kolo, respectivement, Enseignant-Chercheur à UJLoG et ex-Directeur du Centre de Recherche en Écologie de Côte d'Ivoire, qui ont accepté de co-diriger cette thèse. Chers maîtres, vous avez initié et accompagné ce projet depuis sa conception jusqu'à son aboutissement. Vos qualités intellectuelles, humaines, ainsi que vos encouragements et soutiens indéfectible tout au long de cette œuvre, mais aussi et surtout, vos multiples conseils ne m'ont jamais fait défaut. Vous avez su par votre rigueur dans le travail, m'inculquer l'amour du travail bien fait. Puissiez-vous trouver ici, l'expression de ma profonde gratitude. Au Professeur YEO Kolo, vous resterez à jamais une source d'inspiration pour moi. Que votre âme repose en paix.

La qualité du rendu final de ce mémoire est en partie le fait des membres du jury de soutenance de la thèse. Pour cela, je leur témoigne toute ma gratitude. Il s'agit précisément du Professeur BOYE Mambé Auguste-Denise, Président ; des Docteurs DOSSO Kanvaly et TRA Bi Crolaud Sylvain, Rapporteurs et des Docteurs ZRO Bi Gohi Ferdinand et TUO Yalamoussa, Examineurs.

Par ailleurs, l'apport de certains Enseignants-Chercheurs a été une aide très précieuse pour l'aboutissement de cette recherche. Je pense particulièrement :

- à Docteur KOUASSI Kouadio Daniel, Maître de Conférences et Vice-doyen de l'UFR Environnement de l'Université Jean LOROUGNON GUEDE, qui m'a apporté conseils, soutiens moral et financiers, puis des observations très pertinentes ;
- aux Docteurs SIB Ollo, KOUAME Yao Anicet Gervais, SORO Nicodenin Angèle de UJLoG et LOMBART Kouakou Mesmer Maurice de l'Université Nangui ABROGOUA (UNA), qui m'ont aidée à réaliser la plupart des analyses statistiques effectuées dans ce travail ou ont apporté des remarques constructives au premier jet du mémoire ;
- et à Docteur ANGAMAN Eliame Niamké, Enseignant-Chercheur à l'Université Jean Lorougnon Guédé, qui m'a inculquée la rigueur scientifique relativement à la rédaction d'articles scientifiques en anglais.

A toutes ces personnes, je dis grand merci.

Aussi, toutes les notions d'Entomologie, d'Ecologie et de Myrmécologie développées dans la présente recherche ont été soutenues par plus d'une équipe de chercheurs, que je remercie également du plus profond de mon cœur. Il s'agit notamment :

- l'équipe d'Entomologie, de UJLoG constituée par : Professeure YEBOUE N'Guessan Lucie, Docteurs N'DEPO Ossey Robert (Maître de Conférences), TANO Djè Kévin (Maître de Conférences), FONDIO Drissa, KOUASSI Cyprienne, DAO Hassan et DIABATE Seydou ;
- l'équipe de Travail en Ecologie Tropicale Animale (ETETA) de UJLoG qui à sa tête le Professeur BÉNÉ Koffi Jean-Claude ;

- l'équipe de myrmécologie de UNA représentée par les Docteurs LOMBART Kouakou Mesmer Maurice et OUATTARA Kaly, qui malheureusement est décédée juste avant la soutenance de cette thèse, paix à son âme.

Une phase importante de la réalisation de cette recherche a été possible grâce aux soutiens de plusieurs structures impliquées dans la production et la commercialisation du cacao en Côte d'Ivoire. Je viens, ici, adresser une reconnaissance sans faille à ces structures. Ainsi, à monsieur HOUNJII Ahouanssou Thierry Homevô, Directeur Général Adjoint d'AWAHUS (Exportateur de cacao), ainsi qu'à son épouse, je tiens à adresser mes sincères remerciements pour leur accueil chaleureux et leur grande disponibilité, notamment lors de mes visites dans les entrepôts de fèves de cacao, ce qui a grandement facilité le bon déroulement de mes activités sur le terrain. En ce qui concerne monsieur SANGARE Mohamed, Conseiller chargé des Affaires Juridiques et du Contentieux au Port Autonome de San-Pedro, je lui suis très reconnaissante pour m'avoir facilité l'accès aux entrepôts du Port de San-Pédro tout en m'apportant un appui financier non négligeable. Le groupe ECOOKIM spécialisé dans la production et la commercialisation du cacao, a mis à ma disposition non seulement leurs parcelles de cacaoyères, mais aussi, leurs entrepôts. Que ce trouve ici, l'expression de notre profonde gratitude, adressée à monsieur SILUE (ex PCA) et Monsieur TEME Alvares Roméo pour leur implication particulière. Durant cette phase de terrain marquée par le rôle crucial des entreprises, les dames GAHIE Olga Clarisse à Issia et BAHY Raissa à Vavoua, ont joué un rôle non moins important. En effet, elles m'ont apportée hébergement et nourriture. Je leur suis infiniment reconnaissante pour cette aide.

Avant de clore ces remerciements, ils convient d'avoir une pensée spéciale pour madame AMOI Odette épouse AYOLIE et et le couple TETIALY, qui m'ont encouragée à continuer les études après le Master, puis à monsieur OUEDRAOGO Aboulaye, pour son appui financier. Pareillement, j'ai une pensée spéciale pour la première promotion de la Licence 1 d'Agroforestrie et Environnement, ainsi qu'à la deuxième promotion du Master d'Agriculture et Forestrie (AGRIFOR) de UJLoG auxquelles j'appartiens. J'encourage vivement l'esprit d'équipe et de convivialité qui a toujours régné au sein de ces deux groupes. Par ailleurs, je reste convaincue que les prières du Révérend Père N'DRI N'guessan Thomas d'Aquin, mon père spirituel, ont été d'une aide spéciale à l'aboutissement des présents travaux. Mon Père, Que Dieu vous rende au centuple le fruit de vos efforts à l'endroit de tous vos fidèles.

Je ne saurais terminer ces remerciements sans traduire ma reconnaissance à ma grande famille qui m'a toujours soutenue dans les moments heureux comme malheureux. Ainsi :

- à mes parents adoptifs, monsieur et madame SENIADJA Tondo et ma grand-mère, dame KOUAME N'da Aya Germaine, je suis profondément reconnaissante pour tout ce qu'ils ont pour moi. Que le Seigneur les bénisse abondamment. Ces mots de gratitude s'adressent aussi aux sieurs KESSE Jules, HELAISE Bile Marcel Usher et aux dames KOUAO Assalebla Reine, DIAN Florence et NANEMA Roseline, mes oncles et tantes adorés.
- à tous mes frères, sœurs, nièces et neveux, à savoir, YACOUBA Aziz, YACOUBA Bissiri, YACOUBA Cheikna, KESSE Melissa, YACOUBA Grâce, YACOUBA Meryl, KOUAME Maël, KOUAME Mathys, KOUAME Marven, KOUAME Manel, TRAORE Maissane, je voudrais dire merci pour leur confiance placée en moi. Il en est de même pour mes cousines et amies très proches, notamment, mesdemoiselles AIWA Cécile Marlyse, KOFFI Désirée, YAO Flora, KONAN Stéphanie, DIOMANDE Eva, GUEHI Rebecca et mesdames KONE Aicha épouse KONATE, puis OHOUO Grâce épouse AHOUA ;
- à ma très chère cousine, madame DIAH Grandine Marie Karine, épouse TRAORE, je ne saurais trouver de mots qu'il faut pour traduire ma reconnaissance, tant son soutien pour la réalisation de cette recherche a été multiforme (financier, moral, affectif) et énorme. Chère sœur, c'est Dieu seul qui te récompenser pour reçue de ta part ;
- à toutes les personnes, frères et sœurs, oncles et tantes, cousins et cousines ou amis qui contribué d'une manière ou autre à l'élaboration de ce mémoire, et qui n'ont pas cités dans ces remerciements, je vous suis aussi reconnaissante pour vos efforts. Que le Tout-Puissant vous garde.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

AGRIFOR	: Agriculture et Foresterie
DG	: Directeur Général
DGA	: Directeur Général Adjoint
CCC	: Conseil Café Cacao
CRHS	: Conseil Régional du Haut-Sassandra
ECOOKIM	: Entreprise Coopérative Kimbé
ICCO	: Organisation Internationale du Cacao
PCA	: Président du Conseil d'Administration
RGPH	: Recensement Général de la Population et de l'Habitat
UFR	: Unité de Formation et Recherche
UJLoG	: Université Jean Lorougnon Guédé
WCF	: World Cocoa Foundation

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Production de fèves de cacao par pays de 2020 à 2023	9
Tableau II : Quelques insectes ravageurs des stocks de fèves de cacao	20
Tableau III : Caractéristiques des producteurs de cacao enquêtés	52
Tableau IV : Répartition par zone de production des planteurs et des surfaces enquêtées en fonction des départements	52
Tableau V : Bilan statistique de l'effort de récolte des fourmis dans les quatre départements	59
Tableau VI : Principales caractéristiques des peuplements de fourmis récoltées dans les catégories de vergers de cacaoyers par département visité	63
Tableau VII : Liste des espèces communes aux quatre départements explorés	65
Tableau VIII : Complémentarité entre les peuplements de fourmis récoltées dans les vergers âgés de 0 à 10 ans	67
Tableau IX : Complémentarité entre les peuplements de fourmis récoltées dans les vergers âgés de 11-20 ans	67
Tableau X : Complémentarité entre les peuplements de fourmis récoltées dans les vergers âgés de plus de 20 ans	68
Tableau XI : Variation de l'abondance des sous-familles entre les départements	69
Tableau XII : Variation des abondances de sous-familles de fourmis en fonction de l'âge des vergers	70
Tableau XIII: Variation de l'abondance de guildes fonctionnelles entre les départements ...	73
Tableau XIV : Erreurs de quantification et de topographie	74
Tableau XV : Répartition des espèces de fourmis dans les entrepôts de stockages.....	81
Tableau XVI : Liste des espèces de fourmis récoltées dans les entrepôts brousses	86
Tableau XVII : Nombre moyen de cabosses saines et de cabosses attaquées en présence et en absence des oecophylles sur les cacaoyers.....	91

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude	6
Figure 2: Diagramme ombrothermique du Haut-Sassandra de 2020 à 2022	7
Figure 3: Carte de répartition de la production de fèves de cacao dans le monde en 2020	9
Figure 4: Cacaoyer	11
Figure 5: Feuilles de cacaoyer	12
Figure 6: Fleur et fruit présent sur un tronc de cacaoyer	13
Figure 7 : Tronc de cacaoyer	13
Figure 8 : Branches de cacaoyer	14
Figure 9 : Schéma montrant un cacaoyer avec ses racines	15
Figure 10: Quelques traces de bioagresseurs du cacaoyer	18
Figure 11 : Morphologie externe d'une fourmi	24
Figure 12 : Morphologie interne d'une fourmi	26
Figure 13 : Glandes de fourmis	27
Figure 14: Accouplement chez la fourmi	28
Figure 15 : Différents types de fourmilières	29
Figure 16: Matériel biologique	32
Figure 17: Quelques éléments du matériel d'échantillonnage et de conservation	33
Figure 18 : Quelques éléments du matériel de montage de fourmis	33
Figure 19: Loupe binoculaire utilisée pour l'identification des échantillons	34
Figure 20 : Dispositif d'échantillonnage sur un transect	37
Figure 21: Piège fosse	38
Figure 22: Application de la méthode de battage	39
Figure 23: Appât alimentaire	39
Figure 24 : Pieds de cacaoyers	41
Figure 25 : Dispositif de collecte des ténébrions	41
Figure 26: Sacs contenant des fèves de cacao	42
Figure 27: Fèves de cacao destinées à être infestées par dix ténébrions lâchés dans un bocal	43
Figure 28: Dispositif d'évaluation du taux de prédation des ténébrions par les fourmis	44
Figure 29: Répartition des cacaoyères en fonction des précédents culturels	53
Figure 30: Superficie moyenne des cacaoyères par producteur	53

Figure 31: Proportion de producteurs rencontrant les ravageurs identifiés dans leurs vergers	54
Figure 32: Répartition des insectes en fonction des classes d'âge.....	55
Figure 33: Répartition des insectes en fonction de l'ensemble des classes d'âge confondues	56
Figure 34: Variabilité de l'état de santé des classes d'âges des vergers de cacaoyers.....	57
Figure 35: Répartition des pesticides utilisés en fonction des classes d'âges des parcelles	58
Figure 36 : Traitements appliqués dans les différentes parcelles	58
Figure 37: Courbes d'accumulation des espèces de fourmis observées et attendues en fonction de la surface échantillonnée dans le département de Daloa.....	60
Figure 38: Courbes d'accumulation des espèces de fourmis observées et attendues en fonction de la surface échantillonnée dans le département d'Issia	60
Figure 39 : Courbe d'accumulation des espèces de fourmis observées et attendues en fonction de la surface échantillonnée dans le département de Vavoua	61
Figure 40: Courbes d'accumulation des espèces de fourmis observées et attendues en fonction de la surface échantillonnée dans le département de Zoukougbeu	62
Figure 41 : Richesse spécifique moyenne des fourmis récoltées dans les départements.....	64
Figure 42: Classification ascendante hiérarchique des départements explorés basée sur leur composition spécifique de fourmis.....	66
Figure 43 : Proportions des sous-familles de fourmis dans l'ensemble des départements explorés	69
Figure 44 : Abondances de fourmis obtenues avec les méthodes d'échantillonnage dans les différents départements visités	71
Figure 45 : Abondances de fourmis obtenues selon l'âge des vergers dans les différents départements visités	71
Figure 46 : Proportions des guildes fonctionnelles de fourmis dans l'ensemble des départements explorés	72
Figure 47 : Carte SOM de Kohonen montrant la répartition des 48 cellules et dendrogramme présentant la classification hiérarchique des cellules sur la base des abondances par espèce de fourmis	75
Figure 48: Distribution des échantillons sur la carte de Kohonen à partir des assemblages de taxons de fourmis ; les groupes définis sont numérotés de I à IV	76
Figure 49: Profil de distribution des espèces de fourmis sur la carte de Kohonen à partir des données d'abondances relatives et d'occurrences.	77

Figure 50: Distribution des espèces de fourmis des différents départements dans chaque groupe défini par la SOM.....	80
Figure 51 : Proportions des guildes fonctionnelles de fourmis dans l'ensemble des entrepôts de stockage des fèves de cacao	82
Figure 52 : Abondance des fourmis récoltées dans les entrepôts de stockages	82
Figure 53: Abondance des espèces de fourmis récoltées dans les zones de stockages en fonction des méthodes d'échantillonnage utilisées	83
Figure 54: Distribution des abondances des espèces de fourmis des zones de stockages en fonction des méthodes d'échantillonnage	85
Figure 55 : Proportions des sous-familles de fourmis récoltées dans les zones de stockage..	86
Figure 56: Proportion de dégradation du feuillage des parcelles de cacao	88
Figure 57 : Abondance moyenne du taux d'attaques des feuilles de cacaoyers	88
Figure 58: Effet de la présence des oecophylles sur les attaques de ravageurs	90
Figure 59: Nombre de fèves de cacao attaquées par les ténébrions au cours du temps.....	91
Figure 60: Masse des fèves de cacao avant et après infestation.....	92
Figure 61: Evolution du nombre de ténébrions attaqués par la fourmi <i>Tapinoma melanocephalum</i> dans les pochons	94
Figure 62: Evolution du nombre de ténébrions attaqués par la fourmi <i>Tapinoma melanocephalum</i> dans les bacs.....	94
Figure 63: Nombre de larves des <i>Pyralidae</i> attaquées par la fourmi <i>Tapinoma melanocephalum</i> dans les pochons de cacao.....	95

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Fiche d'enquête

Annexe 2: Composition spécifique des fourmis en fonction des départements

Annexe 3: Répartition des espèces de fourmis dans les différents vergers par département et classe d'âge

Annexe 4: Composition spécifique des fourmis en fonction du gradient d'âge

INTRODUCTION

Originaire de l'Amérique du sud, le cacaoyer (*Theobroma cacao* L. 1753) est une plante cultivée essentiellement pour ses fruits de hautes valeurs nutritive et commerciale. La culture du cacao concerne près de 5 millions de producteurs dans le monde (WCF, 2012), occupant ainsi une place essentielle dans la vie de ces derniers. Aussi, plus de 40 à 50 millions de personnes dans le monde y tirent l'essentiel de leurs revenus (Sib, 2022). De plus, l'Afrique représente 75,2 % du marché mondial des fèves brunes (ICCO, 2023). La filière Café-Cacao constitue un secteur vital pour l'économie des pays tropicaux comme la Côte d'Ivoire. En effet, dès son indépendance, la Côte d'Ivoire a basé son économie essentiellement sur l'agriculture. Introduite vers la fin du 19^{ème} siècle dans la région Est de la Côte d'Ivoire (Burle, 1962), la cacao-culture a connu une expansion très rapide. Depuis les années 1970, la Côte d'Ivoire est devenue le premier pays producteur et exportateur mondial de fèves de cacao (Dufour, 2005). Pour la campagne 2022-2023 la Côte d'Ivoire a exporté 2230 millions de tonnes de fèves de cacao. Elle est suivie du Ghana (750 milles tonnes) selon ICCO (2023).

De ce fait, la Côte d'Ivoire occupe une place prépondérante sur le marché international du cacao (ICCO, 2015). Le cacao représente à lui seul, plus de 46 % des recettes d'exportation et emploie (y compris le secteur agro-industriel) plus de 2/3 de la population active (Dembélé, 2009). Au plan social, ce sont environ 600 000 chefs d'exploitation qui animent l'appareil de production, faisant ainsi vivre environ 6 millions de personnes des revenus du cacao (ICCO, 2015).

Par ailleurs, la majeure partie de la production du cacao est exportée en fèves (70 %) et en produits semi-finis (30 %) (ICCO, 2014). La production est assurée par la nouvelle boucle du cacao (le Haut et le Bas Sassandra) et l'ancienne boucle (le Moyen Comoé et le Moyen Cavally). Huit autres régions du sud du pays dont les productions varient de 3 à 7 %, contribuent à combler le reste de la production nationale (Sangaré *et al.*, 2009).

Malgré cette performance remarquable dans la production cacaoyère, la durabilité du verger en Côte d'Ivoire est compromise par plusieurs contraintes. Ce sont, les contraintes économiques, caractérisées par les fluctuations des prix du marché, la rareté des terres disponibles (Freud *et al.*, 2000). Et les contraintes biotiques marquées par l'action des maladies, des insectes ravageurs, de rongeurs et de plantes parasites (Kébé *et al.*, 2006). En ce qui concerne les maladies, la pourriture brune des cabosses est la maladie qui affecte le plus le cacao en Côte d'Ivoire (Kébé, 1999). Les pertes engendrées par cette maladie sont estimées à 10 % en Côte d'Ivoire (Nguyen-ban, 1996).

Il y'a également le swollen shoot, une maladie virale du cacaoyer qui se développe de manière endémique en Afrique de l'Ouest (Ollennu & Owusu, 2002). Il constitue l'une des maladies virales du cacao dont les conséquences économiques sont les plus importantes avec 30 à 40 % des pertes post-récoltes (ICCO, 2015).

En Côte d'Ivoire, deux espèces de plantes parasites du cacaoyer appartenant à la famille des Loranthaceae et neuf espèces épiphytes des familles des Orchidaceae, des Araceae et des Polypodiaceae ont été identifiées (Aka *et al.*, 2017). Elles affectent la croissance et la valeur économique de leurs hôtes qui finissent par mourir (Delabraze & Lanier, 1972 ; Azo'o *et al.*, 2013).

Quant aux insectes ravageurs, ils occasionnent d'énormes pertes au niveau de la production. Les cacaoyers sont attaqués en particulier par les Hémiptères, les Lépidoptères et les Isoptères qui causent des pertes de production (Babin *et al.*, 2008 ; Coulibaly & N'Guessan, 1996 ; Tra Bi *et al.*, 2019). Les fèves de cacao stockées sont également sujettes d'attaques d'insectes, de micro-organismes et de rongeurs provoquant des problèmes de qualité au niveau de celle-ci (Kekeunou *et al.*, 2006 ; Tah *et al.*, 2016). En effet, alors que les insectes se nourrissent des fèves à l'intérieur desquelles ils logent, les champignons quant à eux, se développent sous forme de moisissures (Kouiakou *et al.*, 2018). Leur taux élevé diminue la valeur marchande du cacao et certains d'entre eux sont susceptibles de produire des substances toxiques telles que l'ochratoxine et l'aflatoxine fortement redoutées par les consommateurs (FAO, 1999).

A ces difficultés, s'ajoutent le vieillissement du verger et la baisse de la fertilité des sols en raison de leur surexploitation (Sib, 2022). Parmi tous ces différents problèmes, l'attaque des insectes ravageurs reste la plus importante (30 à 40 % de perte de rendement) (N'Guessan, 2005 ; Babin *et al.*, 2008). Pour les éradiquer, divers moyens chimiques sont développés et utilisés. En effet, l'abamectine 1,8 %, l'acetamipride + bifenthrine et l'acetamipride + cyperméthrine sont des substances actives utilisées dans la lutte contre les insectes ravageurs du cacaoyer (N'guessan *et al.*, 2016). Cependant, ces moyens chimiques ne sont pas sans conséquences sur l'environnement et la vie humaine. L'utilisation de pesticides de synthèse durant la floraison réduit le taux de pollinisation, en raison du caractère entomophile de cette dernière (Babin, 2009). De plus, l'utilisation massive d'une même molécule favorise la mise en place de population de ravageurs résistants.

En revanche, la lutte biologique qui est peu connue dans le milieu de la cacaoculture, est utilisée dans d'autres cultures et permet de lutter efficacement contre les attaques des ravageurs.

En effet, selon Assogba (2013), la fourmi tisserande (*Oecophylla longinoda*) constitue un agent biologique de lutte contre les mouches des fruits, ravageurs de plusieurs variétés de mangues. Elle est également utilisée pour assurer la protection des arbres fruitiers contre certains parasites, notamment les Hémiptères. Aussi, la présence des fourmis dans les cocoteraies joue un rôle préventif et curatif dans la lutte biologique contre les punaises (Allou *et al.*, 2010).

Les fourmis procurent de nombreux autres services écosystémiques, notamment un rôle important dans la prédation d'insectes et de petits invertébrés puis dans la fertilisation (Yéo, 2006) et la bioturbation des sols, ainsi que dans la pollinisation des fleurs (Diame, 2016). Les fourmis jouent également le rôle d'indicateurs biologiques car leur absence dans un environnement témoigne de sa détérioration (Alonso, 2000). Elles pourraient donc être utilisées dans la lutte biologique contre les ravageurs du cacaoyer, d'où la présente étude qui vise en générale à contribuer au développement d'une lutte biologique contre les ravageurs du cacaoyer et des fèves de cacao.

Spécifiquement, il s'agit de (i) déterminer les caractéristiques socio-entomologiques des vergers de cacaoyers dans la région du Haut-sassandra, (ii) décrire les peuplements de fourmis dans les vergers et les entrepôts de stockage des fèves de cacao, (iii) montrer l'influence des fourmis prédatrices sur la dynamique des ravageurs du cacaoyer et des fèves de cacao.

Ce mémoire comprend trois parties articulées comme suit : outre l'introduction qui situe le contexte de cette étude, des généralités sont données sur le milieu d'étude, le cacaoyer et les fourmis dans la première partie. La deuxième partie décrit le matériel et les méthodes utilisés. La troisième partie est consacrée aux résultats et à leur discussion, enfin une conclusion, des recommandations et des perspectives complète le document.

PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS

I. 1. MILIEU D'ÉTUDE

I.1.1. Localisation géographique

Cette étude s'est déroulée au centre-ouest de la Côte d'Ivoire précisément dans la région du Haut-Sassandra, zone située entre le 7°0'0'' de latitude Nord et le 6°34'60'' de longitude Ouest (Figure 1). Cette région couvre une superficie de 17.761 km² avec 1.739.697 habitants et est limitée au nord par les régions du Worodougou (Séguéla) et du Béré (Mankono), au sud par les régions de la Nawa (Soubré) et du Goh (Gagnoa), à l'ouest par la région du Guémon (Duékoué) et du Tonkpi (Man) et à l'est par les régions de la Marahoué (Bouaflé) (CRHS, 2021).

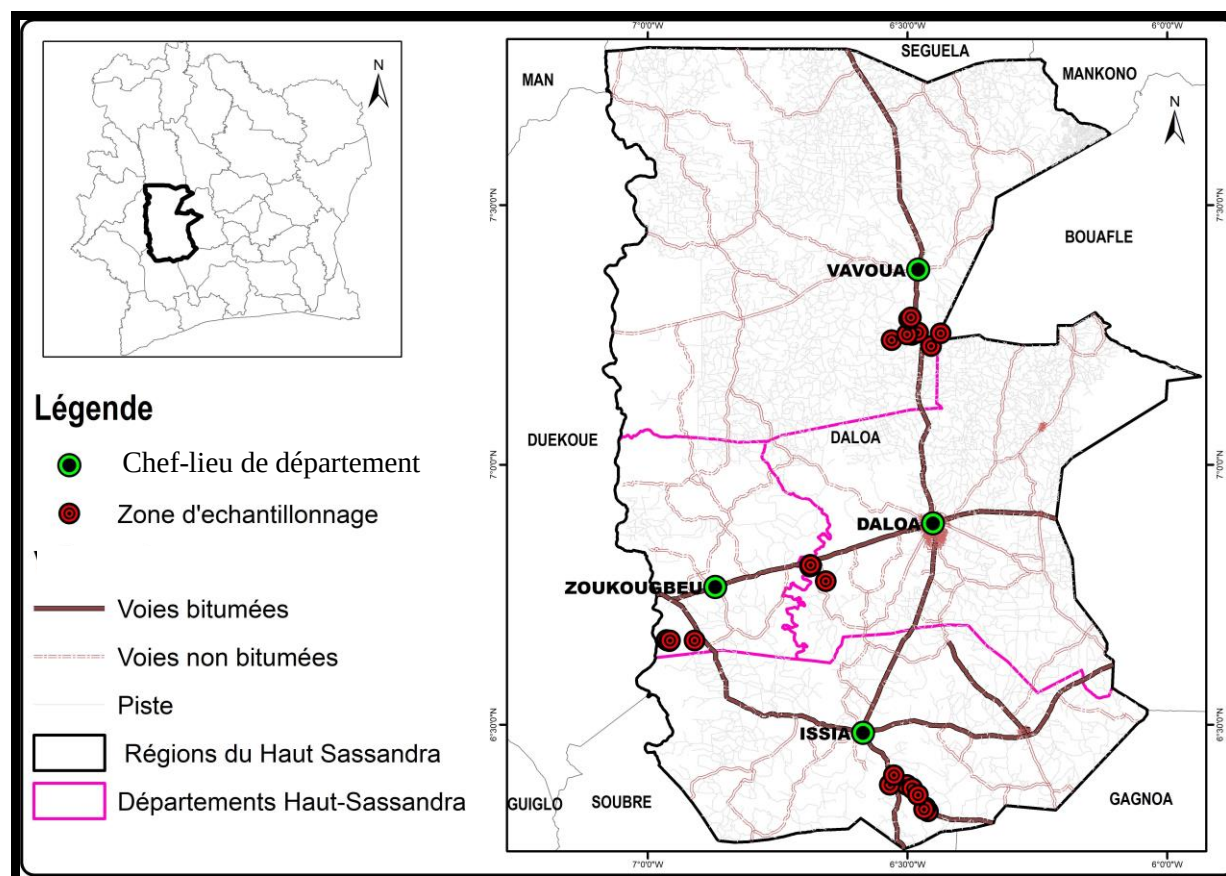


Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude

I.1.2. Climat

Le climat est de type tropical caractérisé par deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. Les précipitations annuelles varient entre 1300 mm et 1800 mm de pluies. Les précipitations moyennes mensuelles de la chronique 2020-2022 mettent en évidence une variabilité.

Quatre (4) saisons bien distinctes ont été identifiées : deux saisons des pluies et deux saisons sèches. La première saison pluvieuse va de mars à avril et la seconde de juin à Octobre. Quant aux saisons sèches, la première s'étend de novembre à février et la seconde en mai (Figure 2).

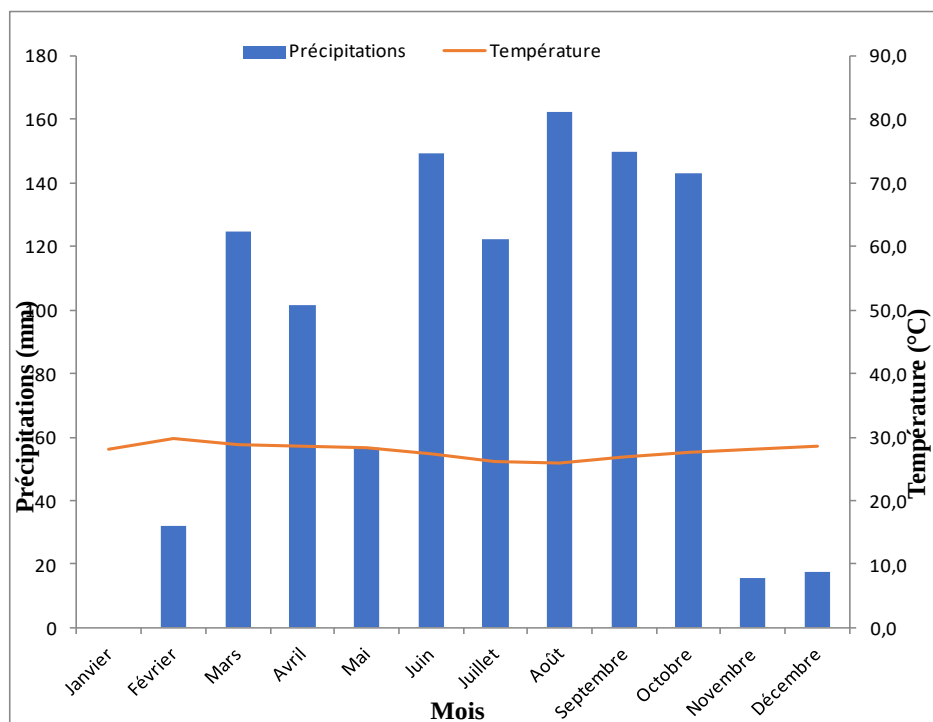


Figure 2: Diagramme ombrothermique du Haut-Sassandra de 2020 à 2022 (SODEXAM, 2023)

I.1.3. Relief

Le relief est constitué d'une pénéplaine de faible altitude en général, comprenant, dans la partie nord des dômes cristallins (300 - 400 m) et de bas-plateaux (200 - 300 m) au sud (Rhs-ci, 2021). Le relief est plus marqué dans le nord-est, où se déploie une chaîne de collines, du Mont Goma au Mont Tangué dont les sommets atteignent 700 m d'altitude (Rhs-ci, 2021). Enfin, la région présente des vallées alluviales peu encaissées qui offrent de larges bas-fonds alluvionnaires favorables aux cultures irriguées (Rhs-ci, 2021).

I.1.4. Végétation

Elle se compose principalement de forêt semi-décidue sur sa majeure partie et de savane forestière dans sa partie Nord (Kouadio & koffi, 2020). Cette végétation se caractérise par une flore très variée. Il s'agit dans l'ensemble, de formations végétales de type tropical abritant une grande variété d'essences nobles propices au bois d'œuvre (Iroko, Dabema, Bois Bété, Badi, etc.) (Koffié & Kra, 2013).

L'occupation humaine (très forte dans cette région) a profondément modifié la végétation naturelle. Ainsi, la forêt dense semi-décidue a fait place à des zones de cultures pérennes et vivrières.

I.1.5. Sols

Les sols de la région du Haut-Sassandra sont des sols ferralitiques d'origine granitique moyennement à faiblement désaturés (Yao *et al.*, 2020). Ces sols présentent de bonnes aptitudes agricoles et se prêtent à tous les types de cultures pérennes telles que le cacao, le café et des cultures vivrières telles que la tomate, l'aubergine, le poivron, le gombo pour ne citer que ceux-là (Yao *et al.*, 2020).

I.2. CACAOYER

I.2.1. Origine et historique

Originaire de l'Amérique du Sud, le genre *Theobroma* (ou « nourriture des dieux » en grec) est apparu il y a des millions d'années. Le cacaoyer, *Theobroma cacao* L., appartient à la famille des Malvacées (Alverson *et al.*, 1999). Sa culture s'est progressivement répandue vers le sud à travers l'Inde Orientale et ensuite au Sri Lanka au cours du 19^e siècle. Par ailleurs, au début du 20^e siècle, une série d'introductions a été réalisée par les Anglais au Sri Lanka, par les Hollandais à Java et par les Allemands en Papouasie-Nouvelle-Guinée à partir de plusieurs régions d'Amérique Latine. Ce qui favorisa le développement des industries cacaoyères de la Papouasie-Nouvelle-Guinée et de l'Indonésie (Vos *et al.*, 2003). Des preuves archéologiques récentes trouvées dans le sud de l'Équateur indiquent que les fèves de cacao étaient déjà utilisées il y a plus de 5 300 ans par la population autochtone et ce, 1 500 ans avant la domestication de l'arbre. Les graines de *T. cacao* avaient été utilisées par plusieurs civilisations précolombiennes, y compris les Mayas, les Incas et les Aztèques (ICCO, 2023). A partir de Bahia, le cacao prit la direction de l'Afrique de l'Ouest, où d'importantes plantations furent créées au 20^e siècle au Cameroun, Nigeria, au Ghana et en Côte d'Ivoire. En effet, en 1822, des Portugais introduisent des cacaoyers dans leur possession de São Tomé, au large du Gabon. Ils sont suivis en 1854 par les Espagnols qui implantent aussi des cacaoyers dans l'île voisine de Fernando Po (l'actuelle Malabo), au large du Cameroun. A partir de 1878, les cacaoyers arrivent en Gold Coast (aujourd'hui le Ghana), puis en Côte d'Ivoire (Barel, 2012).

En Côte d'Ivoire, les premières plantations furent créées à Elima dans la région d'Aboisso puis à Agboville, Tiassalé et Dabou (Boni, 1970). Cent ans plus tard, l'Afrique deviendra le premier continent producteur de cacao au monde (Barel, 2012) (Figure 3 ; Tableau I).



Figure 3: Carte de répartition de la production de fèves de cacao dans le monde en 2020 (PNUD, 2021)

Tableau I : Production de fèves de cacao (Milliers de tonnes) par pays de 2020 à 2023 (ICCO, 2023)

Zones de production	Estimations 2020/2021		Estimations 2021/2022		Prévisions 2022/2023	
Afrique	4054	77,30 %	3594	74,60 %	3772	75,20 %
Cameroun	292		295		300	
Côte d'Ivoire	2248		2121		2230	
Ghana	1047		689		750	
Nigeria	290		280		280	
Autres	177		210		212	
Amérique	933	17,80 %	957	19,90 %	961	19,20 %
Brésil	200		220		220	
Equateur	365		365		370	
Autres	368		372		371	
Asie et Océanie	254	4,80 %	266	5,50 %	284	5,70 %
Indonésie	170		180		200	
Papouasie Nouvelle	42		42		42	
Guinée						
Autres	42		44		42	
Total mondial	5242		4818		5017	100 %

I.2.2. Classification phylogénétique du cacaoyer

Le cacaoyer, *Theobroma cacao* L., appartient au règne des Plantae, regroupant l'ensemble des végétaux. Il est classé parmi les angiospermes, ou plantes à fleurs, un groupe hautement diversifié qui comprend la majorité des plantes terrestres. Au sein de ce groupe, il est rattaché aux eudicotylédones, un clade caractérisé notamment par la présence de deux cotylédons à la germination et un système vasculaire organisé en anneau (APG IV, 2016). Le cacaoyer fait partie de l'ordre des Malvales, connu pour ses espèces tropicales à grande valeur économique et écologique. Il est intégré à la famille des Malvaceae, dans la sous-famille des Byttnerioideae. Historiquement, cette espèce était classée dans la famille des Sterculiaceae, aujourd'hui incorporée aux Malvaceae à la suite des avancées en phylogénie moléculaire (Judd *et al.*, 2002 ; APG IV, 2016). Le genre *Theobroma*, auquel appartient le cacaoyer, comprend environ 22 espèces, toutes originaires d'Amérique tropicale. Parmi celles-ci, *Theobroma cacao* est la seule cultivée à grande échelle pour la production de cacao, ingrédient de base du chocolat. Sa classification reflète à la fois ses caractéristiques morpho-anatomiques et son évolution génétique par rapport aux autres espèces florales (Motamayor *et al.*, 2008).

La position systématique du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) se présente comme suit (Linné, 1753) :

Règne	: Végétal
Embranchement	: Spermaphytes
Sous-embranchement	: Angiospermes
Classe	: Dicotyledones
Sous-classe	: Dilleniidae
Ordre	: Malvales
Famille	: Malvaceae
Genre	: <i>Theobroma</i>
Espèce	: <i>Theobroma cacao</i> (Linné, 1753)

I.2.3. Ecologie du cacaoyer

Le cacaoyer est une plante tropicale de forêt aux climats chauds et humides sans saison sèche prolongée, dont le maximum se situe autour de trois mois (Braudeau, 1969). Sa croissance optimale exige des températures comprises entre 24 et 28 °C, une pluviométrie annuelle de 1500 à 2 500 mm.

Le cacaoyer exige des sols profonds, meubles, perméables, bien drainés, riches en matière organique et en éléments minéraux (Mossu, 1990). Il demande une humidité relative moyenne annuelle comprise entre 70 et 100 % ainsi qu'un couvert végétal le protégeant de l'insolation directe et de l'évaporation. C'est un arbuste sensible à une déficience hydrique, tout particulièrement lorsqu'il est en concurrence avec d'autres plantes, arbres d'ombrage ou adventices (Braudeau, 1969).

I.2.4. Caractéristiques morphologiques du cacaoyer

Le cacaoyer est une plante pérenne pouvant atteindre 12 à 15 m de hauteur lorsqu'il pousse à l'état sauvage. En plantation, la hauteur moyenne est de 5 à 7 m (Figure 4). Le cacaoyer atteint son plein développement vers l'âge de dix ans (Braudeau 1969).



Figure 4: Cacaoyer

I.2.4.1. Feuilles du cacaoyer

La feuille (Figure 5) est rattachée au rameau par un pétiole. À l'aisselle de chaque feuille se trouve un bourgeon axillaire qui peut donner naissance à un rameau. La durée de vie de la feuille varie de 8 à 10 mois. Le cacaoyer perd une feuille quand celle-ci est vieille ou lorsqu'elle est devenue inutile. On dit de son feuillage qu'il est persistant par opposition aux plantes caducifoliées ou tropophiles qui perdent l'ensemble du feuillage en fonction des saisons (Mossu, 1990).



Figure 5: Feuilles de cacaoyer

I.2.4.2. Fruit du cacaoyer

Les fleurs du cacaoyer apparaissent aussi bien sur le tronc que sur les branches à des points fixes appelés coussinets floraux (Swanson *et al.*, 2008).

Seules 5 à 7 % des fleurs sont fécondées et se transforment en fruits de forme fusiforme appelé « cherelle » au stade jeune et « cabosse » au stade adulte (Figure 6). La pollinisation chez le cacaoyer est essentiellement assurée par les insectes (CCC, 2015). Le fruit présente deux stades de développement. Il pèse en moyenne 400 grammes, contient 30 à 40 fèves et peut mesurer 12 à 15 cm de long et 7 à 9 cm de large. La durée de développement du fruit depuis la nouaison jusqu'à la maturité varie de 5 à 6 mois en fonction de l'origine génétique. Seulement, 33% en moyenne des fruits noués sont récoltés (CCC, 2015).



Figure 6: Fleur et fruit présent sur un tronc de cacaoyer

A: fleur présente sur un tronc de cacaoyer ; B : fruit présent sur un tronc de cacaoyer

I.2.4.3. Tronc du cacaoyer

Après germination de la fève, le jeune plant croît verticalement par pousses successives jusqu'à 18 mois. Après cela, la croissance du tronc (Figure 7) est interrompue et l'extrémité se divise en cinq (05) branches formant la couronne à environ 1,5 m du sol. Elle est indéfinie mais discontinue. Chez le cacaoyer cauliflore, les inflorescences apparaissent sur des coussinets floraux, qui sont des renflements du tronc ou des branches (Swanson *et al.*, 2008). A l'état sauvage, le cacaoyer a l'aspect d'une touffe de tiges (Lachenaud *et al.*, 2007). En plantation, il est maintenu sur une tige et à la deuxième couronne par suppression systématique de tous les rejets (Mossu, 1990).

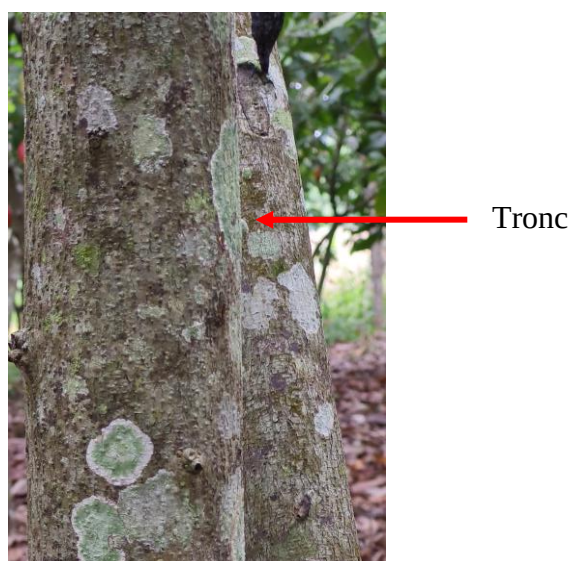


Figure 7 : Tronc de cacaoyer

I.2.4.4. Branches du cacaoyer

La croissance des branches (Figure 8) se fait par poussées foliaires successives (flushes), séparées par des périodes pendant lesquelles les bourgeons terminaux entrent en repos. La poussée des branches est latérale (rameaux plagiotropes). Les branches donnent naissance à d'autres branches, mais il peut se développer des gourmands sur les branches (Sib, 2022).

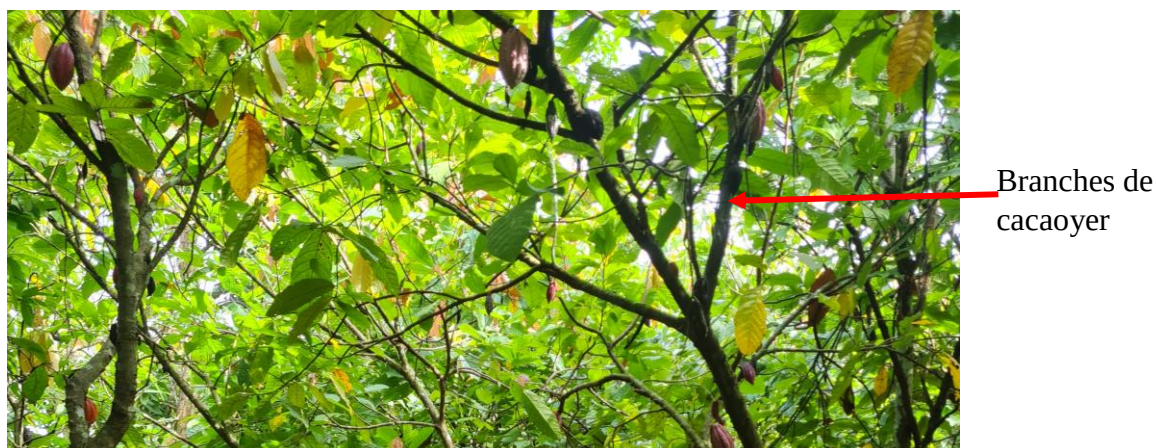


Figure 8 : Branches de cacaoyer

I.2.4.5. Système racinaire du cacaoyer

Le système racinaire (Figure 9) comporte trois grandes parties : le collet, le pivot et les racines latérales.

Le collet constitue le point de séparation de la tige et de la racine. Le pivot, enfoncé verticalement dans le sol (développement orthotrope), peut atteindre 1,50 m à 2 m de profondeur. Les racines latérales se développent à la partie supérieure du pivot dans la couche humifère du sol (20 à 30 cm). Elles ont tendance à remonter vers la surface en se ramifiant à leurs extrémités pour donner un abondant "chevelu racinaire" dans une zone périphérique à environ 2,50 cm du tronc. Ces formations latérales qui prennent naissance, à la base de la racine principale servent surtout à la nutrition hydrique et minérale (Aké-Assi, 1984). La plante issue des semis émet une racine pivotante de longueur variable tandis que celle issue des boutures plagiotropes a un système racinaire fasciculé, le rendant sensible au stress hydrique et au vent (Traoré *et al.*, 2003).

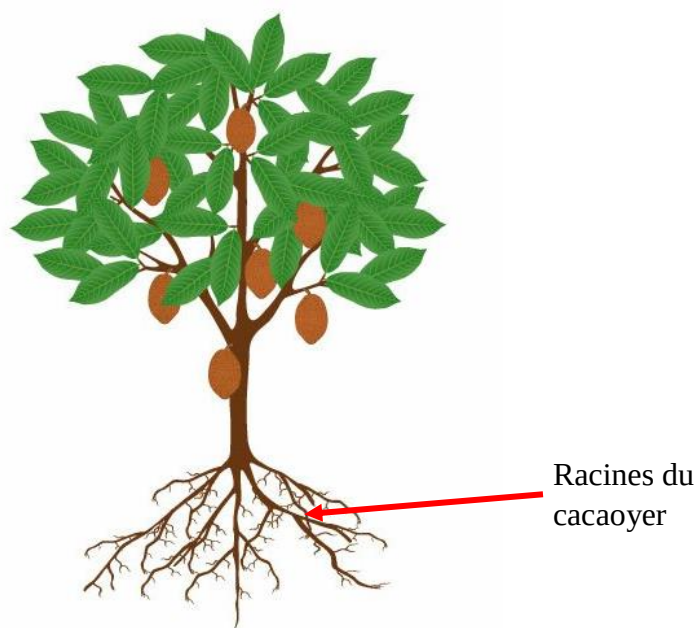


Figure 9 : Schéma montrant un cacaoyer avec ses racines

I.2.4.6. Système de reproduction du cacaoyer

Le cacaoyer possède des fleurs de petites tailles, jaunes ou rougeâtres, qui se développent aussi bien sur le tronc que sur les branches principales, ou sur les ramifications secondaires, dans leur partie défeuillée. Les fleurs sont dotées d'un ovaire contenant environ 30 à 60 ovules. Le cacaoyer peut fleurir toute l'année. La répartition des époques de floraison dépend, cependant, des conditions climatiques. La pollinisation est entomophile. Seuls 2 % des fleurs seront pollinisées. La fécondation réussie d'une fleur conduit au développement d'un fruit. Ce fruit est ovoïde, c'est une baie indéhiscente qui peut contenir en moyenne 15 à 50 graines ou fèves de cacao enveloppées d'une pulpe mucilagineuse épaisse sucrée et acidulée, serrées les unes contre les autres en cinq rangées groupées autour du placenta central. La cabosse adulte présente une dépression dans la zone d'insertion au pédoncule ou zone proximale, ses flancs présentent des sillons plus ou moins profonds selon les cultivars, convergeant vers la partie plus ou moins pointue située à l'opposé du pédoncule ou zone distale (Babacauh, 1983).

I.2.5. Variétés de cacaoyer et leur localisation

Le cacaoyer cultivé présente une très grande diversité. Trois grands groupes se distinguent aujourd'hui en fonction des caractères de couleurs, de dimensions et de formes des différentes parties de la fleur, du fruit et de la graine. Il s'agit des Criollo, des Forastero et des Trinitario (Mossu, 1990 ; Ngangue, 2011 ; Gidoïn, 2013).

- Groupe des Criollo

Les Criollo sont des groupes de cacaoyer très appréciés par les chocolatiers en ce qui concerne la confection de produits de luxe. Les Criollo se démarquent des autres groupes par la saveur de leurs cacaos. Ces cacaoyers portent des gros fruits allongés de couleurs rouges ou verts avant maturité. Les cabosses contenant des sillons profonds sont sensibles aux maladies et aux insectes. Les cotylédons sont blancs ou roses. Les fèves sont grosses et arrondies. Les Criollo sont peu vigoureux et peu précoces. Ce groupe se rencontre au Mexique, Colombie, Venezuela et Nicaragua.

- Groupe des Forastero

Il représente plus de 80 % de la production mondiale. Ce groupe est reparti en deux sous-groupes qui sont les Haut-Amazoniens et les Bas-Amazoniens.

- ✓ Les Haut-Amazoniens

Ce sous-groupe se retrouve au Pérou, à l'Equateur et en Colombie. Ils sont vigoureux, précoces et peu productifs. Ces cacaoyers sont tolérants aux maladies et aux insectes. Les cabosses sont petites et de formes variables avec des sillons peu marqués. Les cabosses toujours vertes avant la maturité contiennent des petites fèves aplaties mais nombreuses. Les cotylédons des Haut-Amazoniens sont violets foncés.

- ✓ Les Bas-Amazoniens

Ils sont vigoureux et moins précoces. Ils sont plus ou moins sensibles aux maladies et aux insectes. Les cabosses toujours vertes avant la maturité contiennent des petites fèves aplaties mais nombreuses. Leurs cotylédons sont violets foncés. Les Bas-Amazoniens se rencontrent au Brésil, en Guyane et en Afrique de l'Ouest.

- Groupe des Trinitario

Les Trinitario sont des hybrides très hétérogènes, issus du croisement entre Forastero et Criollo (Lanaud *et al.*, 1999). Les caractères botaniques des Trinitario sont donc très difficiles à définir. Ils présentent tous les types intermédiaires entre les Criollo d'une part et les Forastero d'autre part. Les Trinitario fournissent 10 à 15 % de la production mondiale du cacao. Ils sont cultivés où étaient autrefois cultivés les Criollo : Mexique, Amérique Centrale, Trinidad, Colombie, Venezuela, Equateur, en Afrique (surtout au Cameroun).

I.2.6. Importance et usage du cacao

Le cacao est le troisième produit le plus exporté au monde après le sucre et le café (Thevenard-puthod, 2004). Des préparations à partir des fleurs, des écorces, des feuilles ou du beurre sont utilisées contre la fatigue ou pour traiter les troubles intestinaux et les irritations

de la peau (Dillinger *et al.*, 2000). Le cacao est devenu l'une des cultures les plus lucratives au niveau mondial (ICCO, 2008). En 2008, sa culture a rapporté 6 milliards de FCFA à la Côte d'Ivoire, au Ghana, au Nigéria et au Cameroun, pour une production estimée à 4,1 millions de tonnes (Prakash *et al.*, 2010). Les fèves de cacao ne sont pas seulement une source de revenus d'exportation pour les pays producteurs, mais elles jouent également un rôle crucial dans l'alimentation de nombreux pays. En effet, grâce à leur richesse en éléments nutritifs, la poudre de cacao est largement utilisée dans la pâtisserie, la confiserie, ainsi que dans la préparation de boissons lactées. Ces éléments nutritifs assurent un bon fonctionnement cellulaire, prévient la fatigue, stimule la contractilité des fibres musculaires, la circulation sanguine de même que le système nerveux central et le système cardiovasculaire (Anonyme, 2008). Les fèves sont aussi utilisées pour la fabrication de tabac, de savon et de cosmétiques. Au niveau thérapeutique, elle est connue comme un remède soignant les brûlures, les lèvres sèches, les fièvres, la malaria, le rhumatisme ou les morsures de serpents. De plus, les sous-produits issus du cacao peuvent être récupérés pour l'alimentation du bétail et de la savonnerie.

1.2.7. Quelques pressions parasitaires de la culture du cacao

La culture du cacao fait face à de nombreuses pressions parasitaires telles que les maladies fongiques, les maladies virales, les attaques d'insectes et les dégâts de certains vertébrés (Figure 10). Le cacaoyer est vulnérable à divers agents pathogènes qui déclenchent un éventail de maladies. Parmi les plus courantes, la pourriture brune des cabosses attribuée au champignon *Phytophthora* qui attaque initialement les cellules extérieures de la cabosse avant de se développer à l'intérieur du fruit. Les symptômes de cette maladie se manifestent par l'apparition de taches translucides qui évoluent en taches brunes couvertes d'un feutrage blanc. Cette attaque peut entraîner la perte totale de la récolte.

La principale maladie virale du cacaoyer est le *swollen shoot*. Elle est présente dans trois pays d'Afrique de l'Ouest : la Côte d'Ivoire, le Ghana et le Togo. L'émergence du Swollen shoot au Ghana remonte aux années 1938, entraînant d'importants dommages aux vergers. En Côte d'Ivoire, les premiers foyers de la maladie sont signalés en 1943 dans les localités de Kongodia et Sankadiokro, à l'est, près de la frontière ghanéenne.

Après une période de faible activité, le *Swollen shoot* s'est propagé dans le centre-ouest du pays, avec de nouveaux foyers en expansion identifiés dans les départements de Bouaflé et de

Sinfra. Le virus du *Swollen shoot*, appartenant au genre *Badnavirus* de la famille des *Caulimoviridae*, est transmis par des cochenilles.

Les cacaoyers sont également attaqués par les insectes, notamment par les Hémiptères, les Lépidoptères et les Coléoptères (Babin *et al.*, 2008 ; N'Guessan *et al.*, 2010). En effet, en Afrique occidentale et centrale, la culture du cacao subit les attaques de certains mirides tels que *Sahlbergella singularis* et *Distantiella theobroma* qui sont des punaises considérées comme les principales ravageuses du cacao en Côte d'Ivoire. Certains vertébrés tels que les rats, les écureuils, les oiseaux causent de nombreux dégâts dans les cacaoyères en s'attaquant principalement aux cabosses.

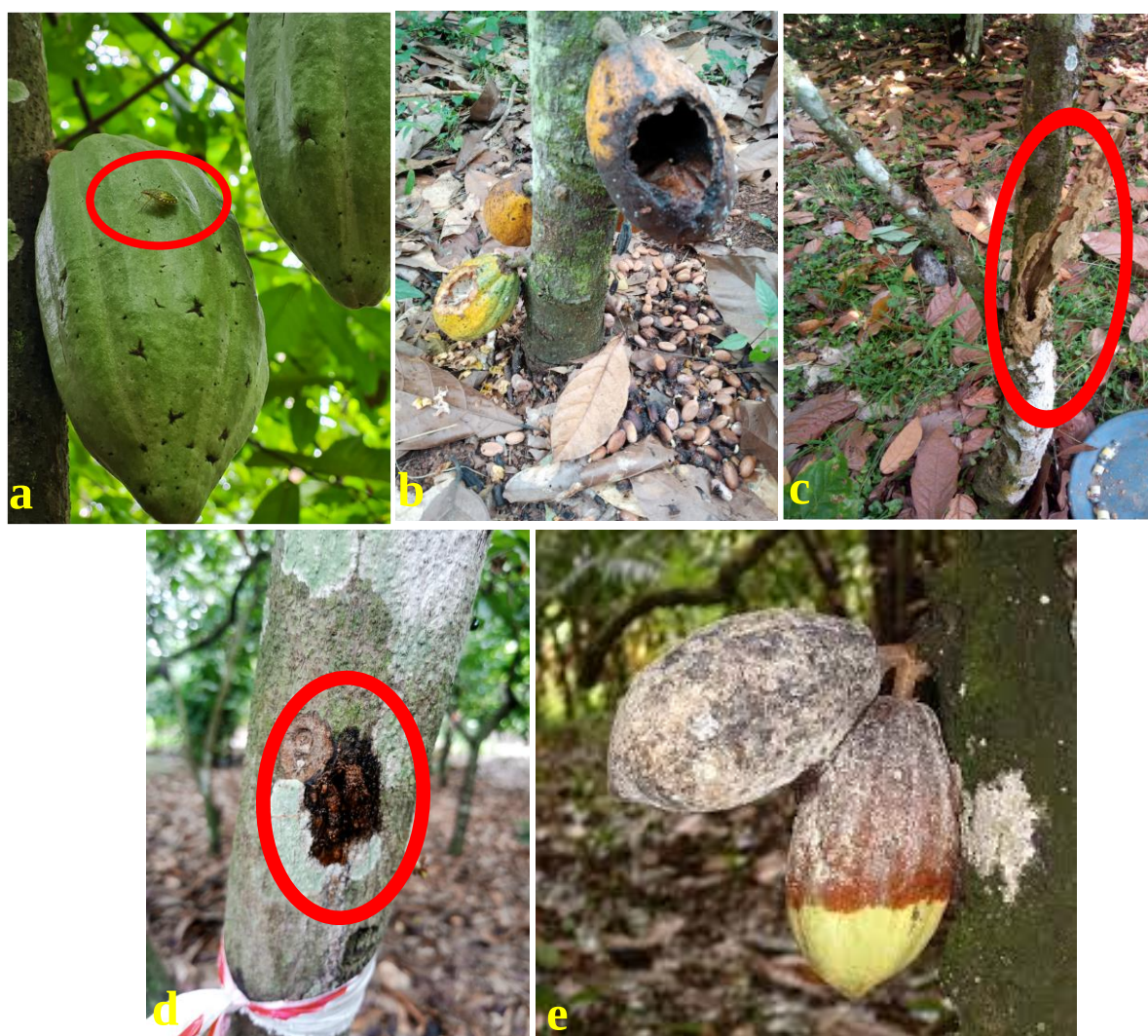


Figure 10: Quelques traces de bioagresseurs du cacaoyer

a : *Bathycoelia thalassina* sur une cabosse de cacao ; **b :** Cabosse attaquée par des rongeurs ; **c :** Cacaoyer attaqué par les termites ; **d :** tronc de cacaoyer attaqué par un foreur de tige ; **e :** Cabosses attaquées par la pourriture brune

1.2.8. Ravageurs des fèves de cacao

Les principaux insectes identifiés dans les stocks de fèves de cacao appartiennent à plusieurs ordres, mais les plus courants sont les Coléoptères et les Lépidoptères. Parmi les Coléoptères, le plus fréquent est *Tribolium castaneum* (Herbst), connu sous le nom de *tribolium* rouge de la farine. Il cause des dégâts en perforant les fèves et en favorisant la croissance de moisissures à travers ses excréments (Haines, 1991). Un autre ravageur important est *Lasioderma serricorne* (F.), le stégobie du tabac, qui est également très fréquent dans les stocks de cacao, surtout lorsque les conditions de stockage sont chaudes et humides. Il fore l'intérieur des fèves, provoquant des pertes qualitatives significatives (Hodges *et al.*, 1996). Il faut aussi noter la présence d'*Ephestia cautella* (Walker), un Lépidoptère dont les larves se nourrissent de fèves en surface, y laissant des fils de soie et des excréments qui contaminent les lots. Cette espèce est redoutée pour sa rapidité de reproduction dans les conditions tropicales (Gwinner *et al.*, 1996).

Les principales espèces rencontrées dans les stocks de fèves sont repertoriées dans le tableau ci-dessous (Delobel & Tran, 1993) (Tableau II).

Tableau II : Quelques insectes ravageurs des stocks de fèves de cacao

Espèces (Familles)	Images	Caractéristiques morphologiques
<i>Carpophilus hemipterus</i> (Nitidulidae)		L'adulte est un Coléoptère de coloration brune et de forme ovale de 3 mm de long. Elytres courts portant des taches. Il s'attaque aux grains séchés plus ou moins détériorés.
<i>Ahasverus advena</i> (Silvanidae)		L'adulte est un coléoptère long de 2 mm, brun roux clair avec une pilosité dorée. Il a des segments abdominaux portant des sclérites. Il est un ravageur Caractéristique des denrées ayant subi une altération en raison d'une trop forte teneur en eau.
<i>Oryzaephilus surinamensis</i> (Silvanidae)		C'est un petit insecte caractérisé par le découpage en festons des bords latéraux du thorax. Il est de couleur rousse, aplati et long de 2,5 à 3,5 mm. Des élytres, striés et ponctués de gros points dans le sens de la longueur. Attaque les denrées ayant subi une altération d'autres insectes. Il est Extrêmement polyphage
<i>Sitophilus zeamais</i> (Curculionidae)		Insecte allongé cylindrique, brun foncé ou noir brillant avec présence d'un rostre. Long de (2,5 à 3mm), Sur les élytres, quatre taches claires sont visibles. Le genre <i>Sitophilus</i> s'attaque surtout aux céréales mais peut être observé dans les denrées agricoles.

Tableau II (suite 1)

<i>Ephestia cautella</i> (Pyralidae)		L'adulte est un petit papillon de taille 18 à 23 mm. Les Ailes de, coloration de fond gris à beige clair, maculées de zones plus sombres en trainées. Les larves sont des chenilles. Elles contaminent les denrées par leurs toiles et déjections et se nourrissent principalement du germe
<i>Araecerus fasciculatus</i> (Anthribidae)		L'adulte mesure 2,5 à 4 mm. Il a une forme ovale de couleur de fond brun à noir masquée par une pubescence jaunâtre ou grisâtre. Les élytres sont ornés de taches jaunes ou grises. Les adultes sont fortement attirés par les hygrométries élevées.
<i>Cryptolestes ferrugineus</i> (Cucujidae)		L'adulte mince, plat et allongé d'une longueur comprise entre 1 et 2,5 mm. Il est brun acajou, avec une tête et un prothorax occupant environ la moitié de la longueur totale. Des antennes très longues. Les adultes et larves attaquent les denrées stockées et provoquent fréquemment des « hot spots».
<i>Necrobia rufipes</i> (Cléridae)		L'adulte varie de 3,5 à 7 mm. Il est allongé avec les élytres 2,5 fois plus longs que larges. Les antennes de coloration brun-roux, ont une extrémité renflée brun foncé ou noire. Les pattes sont orangées. <i>N. rufipes</i> est un prédateur, nécrophage et ne consomme que les produit ayant subi un début de rancissement.

Tableau II (suite 2)

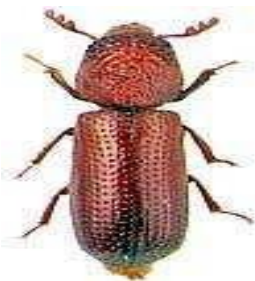
<i>Tenebroides mauritanicus</i> (Tenebrionidae)		L'adulte est noir et brillant, de 8 à 9 mm de longueur et possède des puissantes mandibules. La larve à maturité est blanc-jaunâtre : la tête, les pattes et le dernier segment abdominal noir. IL est l'un des plus gros insectes à infester les grains.
<i>Tribolium castaneum</i> (Tenebrionidae)		Les adultes sont de petits insectes allongés, brun rougeâtre brillant, de 3 à 4 mm de long. Les antennes sont moniliformes. La larve mesure 6 à 7 mm de long. Ce sont des ravageurs secondaires qui s'attaquent aux cacao entreposés. L'infestation cause des odeurs désagréables au niveau des produits.
<i>Rhyssopertha dominica</i> (Bostrychidae)		C'est un petit coléoptère de forme élancée de 2 à 3 mm de long. Sa couleur varie du brun rouge au brun noir. <i>R. dominica</i> est un xylophage, mais il s'est secondairement adapté au régime polyphage et est devenu un fléau des grains stockés.
<i>Lasioderma serricorne</i> (Anobiidae)		Le corps est couvert d'une fine pilosité dorée. Ovoïde et globuleux, mesure entre 2,2 à 3 mm de long et de teinte brunâtre à rougeâtre. Les antennes sont filiformes et très légèrement dentées. Les jeunes larves sont très actives et s'attaquent immédiatement aux fèves de cacao.

Tableau II (suite 3)

<i>Stegobium paniceum</i> (Anobiidae)		L'adulte est un coléoptère de couleur brune ou rougeâtre. Les antennes élargies à leurs extrémités, les trois derniers articles beaucoup plus gros que les autres. Sa surface est finement granuleuse et pubescent. Les élytres étroits ponctués de gros points disposés en lignes longitudinales. Il infeste toute sorte de graines. L'adulte ne s'alimente pas.
--	---	--

I.3. FOURMIS

I.3.1. Description

Les fourmis sont des insectes appartenant à l'ordre des Hyménoptères, au sous-ordre des Apocrites et à la famille des Formicidae. Cette famille se divise en 288 genres répartis sur 20 sous-familles, dont huit sont présentes dans la région néotropicale (Bolton, 2003 ; Agosti & Johnson, 2005). On dénombre plus de 14 000 espèces de fourmis à travers le monde, chacune ayant des caractéristiques plus ou moins spécifiques au sein de la famille (Ponthieu, 2018). Elles occupent une large gamme de niches écologiques, telles que le sol, la litière et les arbres (Yéo *et al.*, 2017). Le régime alimentaire est également très varié. Certaines espèces comme *Megaponera analis*, sont des prédateurs spécialisés tandis que celles du genre *Camponotus* sont omnivores. L'utilisation des fourmis comme agent de lutte biologique a été prouvée au Ghana (Campbell, 1994) et au Sri Lanka (Way *et al.*, 1989).

Les fourmis sont des insectes sociaux qui habitent des nids collectifs (Ouadfel, 2006). La vie en société se distingue par une répartition des tâches entre les individus (Cournault, 2013). Cette répartition s'effectue principalement entre deux castes au sein de la colonie : la caste royale, responsable de la reproduction et pouvant être ailée ou non, et la caste ouvrière, non reproductrice et non ailée, qui prend en charge les activités de fourragement et les tâches domestiques (Yéo, 2006). Les fourmis vivent en communauté dans des nids et occupent tous les types d'environnements terrestres, allant des chaudes forêts tropicales aux froides forêts boréales (Cournault, 2013).

La position systématique des Formicidae (Wikipedia.org cité par Koné, 2013), se présente comme suit :

Règne	:	Animal
Embranchement	:	Arthropodes
Sous- Embranchement	:	Hexapodes
Classe	:	Insectes
Sous-classe	:	Pterygotes
Infra-classe	:	Néoptères
Ordre	:	Hyménoptères
Sous-ordre	:	Apocrites
Super-famille	:	Vespoidea
Famille	:	Formicidae

I.3.2. Anatomie des fourmis

Bien que les fourmis présentent une forte diversité spécifique, leur anatomie est généralement commune, à quelques exceptions près. L'étude de l'anatomie se focalise sur les morphologies externe et interne (Lager *et al.*, 2015).

I.3.2.1. Morphologie externe de la fourmi

Le corps de la fourmi est divisé en trois grandes parties : la tête, le thorax et l'abdomen (Figure 11).

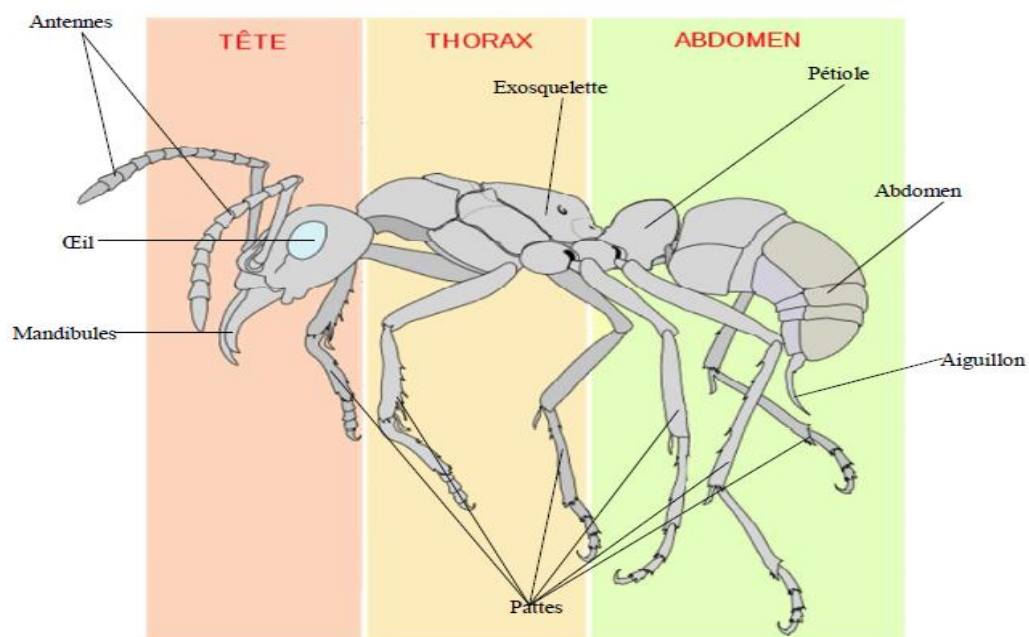


Figure 11 : Morphologie externe d'une fourmi (Lager *et al.*, 2015)

La tête comporte les antennes, les mandibules et les yeux. Les antennes, au nombre de deux, sont principalement utilisées pour la communication entre fourmis. Les mandibules fonctionnent comme des dents, servant à la fois à se nourrir et à se défendre. Les yeux, situés de chaque côté de la tête, sont composés de plusieurs milliers d'éléments appelés ommatidies, offrant ainsi une vision panoramique à 180°.

Certaines fourmis ne possèdent pas d'yeux. Les ailes (non illustrées dans le schéma) sont présentes uniquement chez les individus sexués et sont utilisées lors du vol nuptial.

Le thorax comprend l'exosquelette, les pattes et les ailes. L'exosquelette, constitué de chitine, entoure le corps de la fourmi, le protégeant et protégeant les organes internes. Les six pattes, comme chez tous les insectes, se terminent par des griffes et des coussinets qui produisent un liquide adhésif, permettant à la fourmi de grimper sur des surfaces verticales.

L'abdomen est composé de pétiole, des segments articulés, de gastre élargi, de l'abdomen proprement dit et parfois d'un dard. Le pétiole est une petite structure qui relie l'abdomen au thorax. Il est souvent constitué d'un ou deux segments, ce qui donne à l'abdomen une articulation marquée. Cette articulation permet à l'abdomen de se mouvoir de façon indépendante du thorax. Les segments de l'abdomen (généralement 3 à 4 segments visibles) sont connectés par des membranes flexibles permettant à l'abdomen de se contracter et de se dilater. L'abdomen contient la majorité des organes vitaux, y compris les organes génitaux chez les fourmis sexuées et une spermathèque chez la reine. Le gastre est la partie la plus large et la plus arrière de l'abdomen, souvent plus visible, surtout chez les fourmis adultes comme la reine ou les ouvrières. Il peut être légèrement ou fortement segmenté, selon les espèces. Chez certaines fourmis, il est plus flexible, ce qui permet des mouvements comme l'extension ou la contraction du corps. Le dard (chez certaines fourmis) est à l'extrémité de l'abdomen, certaines fourmis ont un dard, un petit aiguillon qu'elles utilisent pour se défendre ou attaquer. Il peut être visible ou discret selon l'espèce. L'aiguillon est utilisé pour injecter du venin dans les proies (Lager *et al.*, 2015).

I.3.2.2. Morphologie interne de la fourmi

La tête de la fourmi contient le cerveau, constitué de 500 000 neurones, et reçoit de nombreux nerfs, notamment ceux provenant des antennes et des yeux.

Le thorax abrite l'œsophage et le système nerveux. L'œsophage, très étroit, permet le passage des aliments liquides pour leur digestion.

Le système nerveux, qui joue un rôle similaire à celui de la moelle épinière chez les humains, est situé en position ventrale, comme c'est le cas chez tous les invertébrés.

Les principales composantes internes de l'abdomen comprennent le cœur, le jabot, l'intestin, le système respiratoire et les tubes de Malpighi. Le cœur, sous la forme d'un long cylindre allongé, pompe l'hémolymphe (qui remplace le sang) qui circule librement dans le corps. Le jabot sert de réservoir pour stocker la nourriture, qui peut ensuite être redistribuée à d'autres fourmis par trophallaxie. L'intestin est le lieu de la digestion, où les nutriments de la nourriture sont absorbés, tout comme chez l'homme. Le système respiratoire, constitué de stigmates (petits orifices) situés sur le corps de la fourmi, permet l'oxygénation. Les tubes de Malpighi, qui fonctionnent comme des reins primitifs, éliminent les impuretés du sang (Figure 12) (Lager *et al.*, 2015).

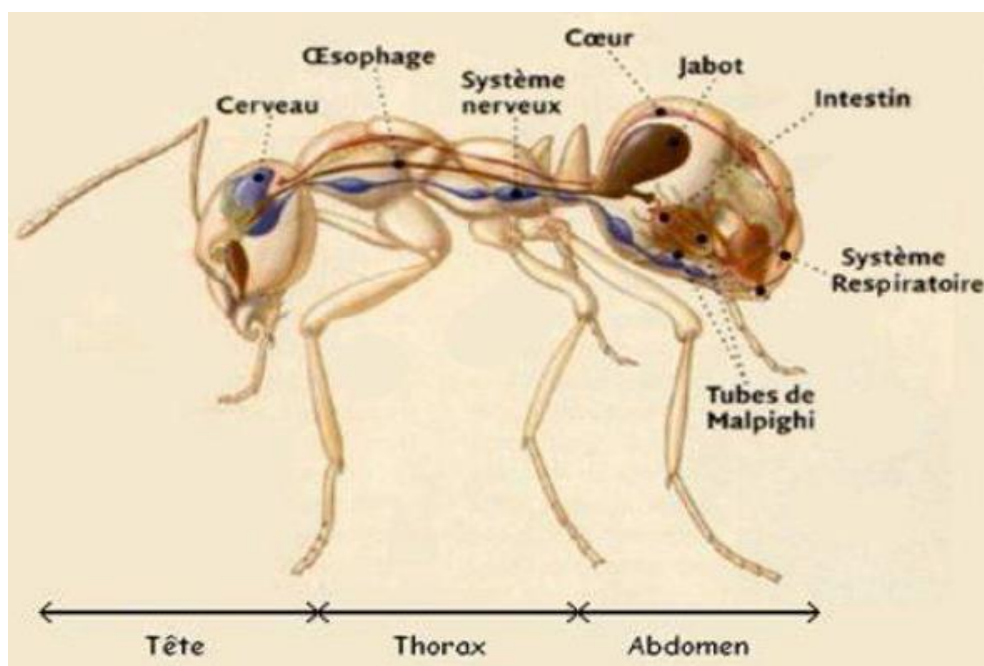


Figure 12 : Morphologie interne d'une fourmi (Lager *et al.*, 2015)

I.3.2.3. Glandes des fourmis

Les glandes situées dans la tête comprennent les glandes prépharyngiennes, mandibulaires et postpharyngiennes.

La glande prépharyngienne est responsable de la production d'enzymes digestives. Les glandes mandibulaires sécrètent des phéromones d'alarme tandis que la glande postpharyngienne produit et stocke des graisses qui seront utilisées pour nourrir les larves.

Le thorax abrite les glandes labiale et métapleurale. La glande labiale est responsable de la production d'enzymes digestives, tandis que la glande métapleurale sécrète et excrète des antiseptiques et des antibiotiques sur l'exosquelette, prévenant ainsi la prolifération de champignons et de parasites.

L'abdomen contient les glandes tergaes, la glande à poison et la glande de Dufour. La glande tergale, présente uniquement chez les individus sexués, sert à attirer les partenaires lors de la reproduction. La glande à poison produit de l'acide formique, utilisé pour attaquer ou se défendre. La glande de Dufour sécrète des phéromones de piste, qui persistent pendant environ une centaine de secondes. La fourmi fonctionne comme une véritable usine chimique, utilisant ses glandes pour la défense, la reproduction et sa survie (Figure 13) (Lager *et al.*, 2015).

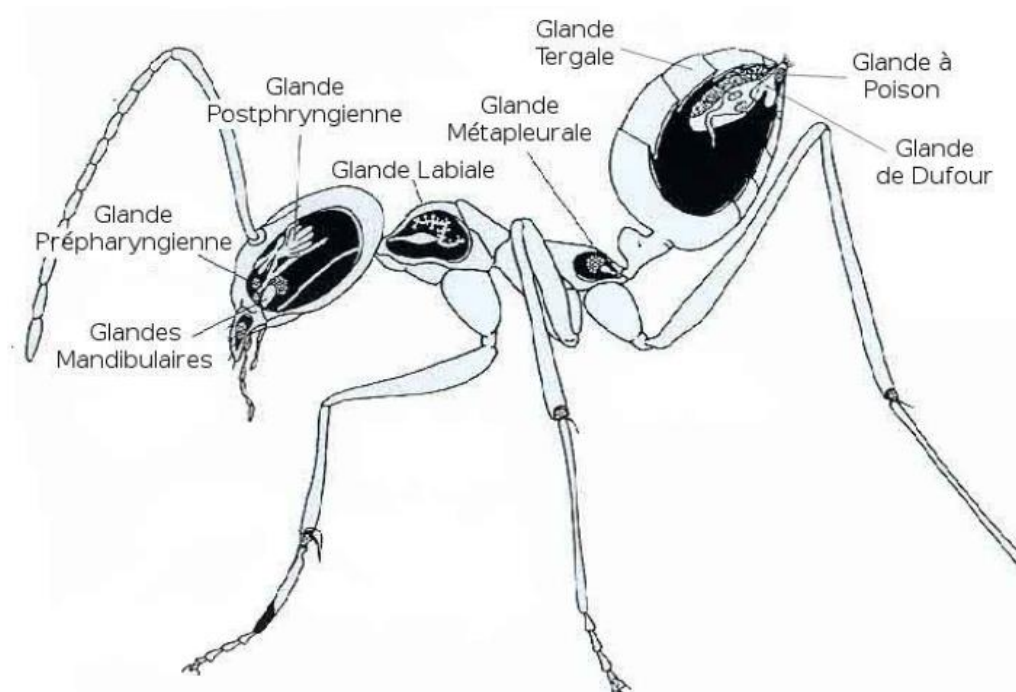


Figure 13 : Glandes de fourmis (Lager *et al.*, 2015)

I.3.3. Cycle biologique des fourmis

La reproduction chez les fourmis, comme chez la plupart des insectes, est sexuée (Figure 14). À la fin de la saison sèche, les fourmis participent au vol nuptial, où elles s'envolent pour s'accoupler. Peu après, les mâles meurent, et seule une femelle sur mille survit. Après l'accouplement, la femelle se réfugie dans le sol pour pondre ses œufs et s'occuper seule des œufs et des larves. La reine nourrit les larves, qui croissent rapidement.

Pendant leur développement, les larves muent, c'est-à-dire que leur cuticule tombe et est remplacée par une nouvelle, correspondant à leurs nouvelles dimensions.

Lors de la dernière mue, les larves deviennent immobiles, cessent de se nourrir et se transforment en fourmis adultes. Une fois les premières ouvrières écloses, la reine cesse de gérer l'approvisionnement et l'entretien de la colonie, tâches désormais assurées par les jeunes ouvrières. La reine se consacre exclusivement à la reproduction (ponte), illustrant ainsi la division du travail. Les ouvrières ont des rôles spécifiques, tels que les puéricultrices chargées du couvain et les exploratrices en quête de nourriture (Cournault, 2013).



Figure 14: Accouplement chez la fourmi (Cournault, 2013)

I.3.4. Ecologie des fourmis

Les fourmilières varient non seulement selon l'espèce de fourmis, mais aussi en fonction des ressources disponibles et des stratégies de survie spécifiques de chaque espèce. Elles vont des structures simples et petites, comme celles sous les rochers, à des constructions gigantesques, complexes et durables, comme celles des fourmis coupe-feuilles ou des fourmis tisserandes. L'adaptabilité et la diversité des nids des fourmis en font des éléments clés de leur succès écologique.

Les fourmilières les plus primitives se trouvent sous terre (hypogées) et sont composées de petites chambres reliées par des galeries, parfois profondes de plus d'un mètre, permettant aux fourmis de circuler dans les deux sens. En revanche, les fourmilières plus avancées, beaucoup plus fréquentes, sont construites au-dessus du sol (épigées) et se présentent sous diverses formes, telles que les fourmilières en dôme, les fourmilières arboricoles et les fourmilières en amas (Figure 15) (Lager *et al.*, 2015).



Figure 15 : Différents types de fourmilières

a : Fourmilière en dôme ; b : Fourmilière en amas ; c : Fourmilière arboricole

I.3.5. Importance agro-écologique des fourmis

Les fourmis sont parmi les insectes les plus répandus et se trouvent dans la majorité des écosystèmes terrestres (Passera & Aron, 2005). Avec environ 16 000 espèces décrites jusqu'à présent (AntWeb, 2024), elles présentent un grand intérêt écologique.

Elles sont également considérées comme des indicateurs précieux des écosystèmes (Alonso, 2000).

Les fourmis peuvent représenter jusqu'à 15 % de la biomasse animale totale, et elles constituent jusqu'à 94 % des individus et 50 % de la biomasse des arthropodes dans la canopée des forêts tropicales (Hölldobler & Wilson, 1990). Les fourmis sont parmi les principaux prédateurs d'insectes et de petits invertébrés dans les habitats terrestres (Yéo, 2006). Par exemple, le genre *Oecophylla* est un ennemi naturel des punaises (Allou *et al.*, 2010). Leur présence dans les plantations de cocotiers joue un rôle à la fois préventif et curatif dans la lutte biologique contre les punaises. De plus, Lévieux (1983) indique que le régime alimentaire de *Myrmicaria eumenoides* est constitué à 95 % d'arthropodes, dont 60 à 80 % sont des insectes. En outre, dans les forêts tropicales, l'impact des fourmis sur le remaniement du sol dépasse celui des vers de terre (Abe, 1982). Les zones autour des nids de fourmis sont particulièrement riches en carbone, azote et phosphore (Yéo, 2006), créant des poches de fertilité qui entraînent une répartition asymétrique de la croissance des plantes (Briese, 1982). Certaines fourmis jouent un rôle dans la dispersion des graines, mais leur contribution à la pollinisation est relativement mineure (Lenoir, 2010). Elles aident aussi les plantes à se nourrir, et en échange, les plantes leur offrent un abri (Grangier, 2008). Ainsi, les fourmis ont un impact significatif sur l'environnement terrestre (Yéo, 2006). Cependant, certaines fourmis peuvent causer des dommages aux cultures, tant directement qu'indirectement. Par exemple, les fourmis du genre *Atta* en Amérique exercent une pression importante sur les plantes en découpant leurs feuilles (Grangier, 2008). Les fourmis « moissonneuses » comme *Pogonomyrmex* et *Messor*, présentes surtout dans les régions arides, récoltent et stockent les graines des plantes pour les consommer durant la saison sèche ou les périodes de fortes pluies. Elles peuvent aussi affecter négativement la croissance des plantes de manière indirecte via la trophobie, une relation symbiotique avec certains organismes tels que les pucerons (Passera & Aron, 2005). Attirées par le miellat produit par les pucerons (Lenoir, 2010), les fourmis les protègent des insectes prédateurs de ces pucerons (Caratini, 1968). Certaines espèces de fourmis éleveuses, telles que *Lasius niger*, *Formica rufa*, *Crematogaster pilosa* (éleveuse de cochenilles) et *Dendrolasius fuliginosus* (éleveuse de pucerons du chêne), jouent également un rôle dans la protection des cultures (Caratini, 1968).

Les informations présentées ci-dessus montrent la nécessité de mieux connaître la faune de fourmis afin de détecter des espèces capables d'être utilisées dans la lutte biologique. Telle est le but de notre recherche.

DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES

II.1. MATERIEL

Le matériel se compose de matériel biologique et de matériel technique.

II.1.1. Matériel biologique

Le matériel biologique est constitué de matériel végétal (les cacaoyers) et de matériel animal (les espèces de fourmis) (Figure 16).

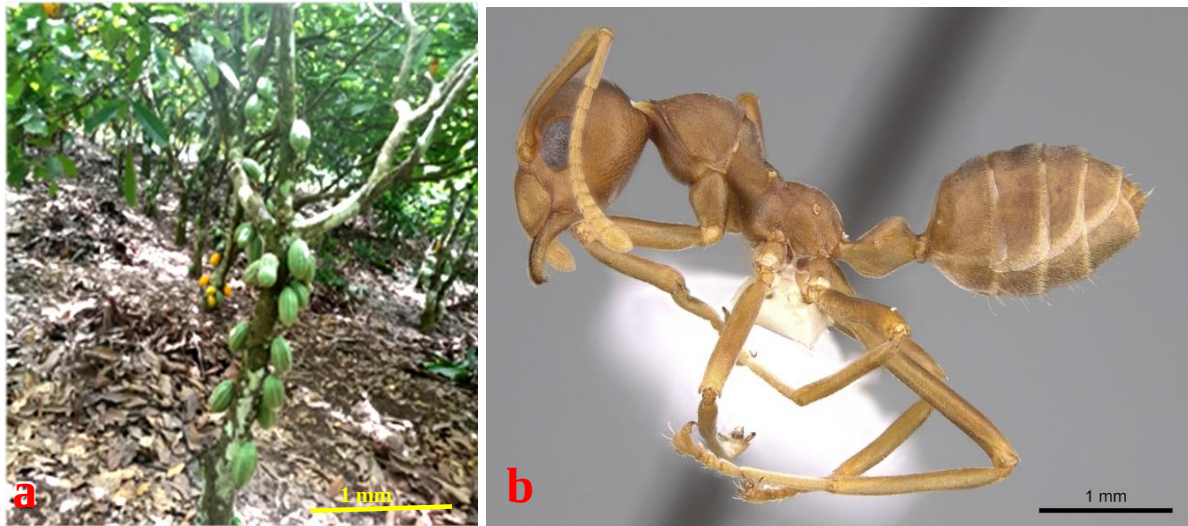


Figure 16: Matériel biologique

a : une cacaoyère ; b : une fourmi (source : antweb)

II.1.2. Matériel technique

Il se compose de matériels d'échantillonnage, de conservation, d'observation et d'identification des fourmis.

➤ Matériel d'échantillonnage et de conservation

Il comprend un décamètre qui a servi à mesurer la longueur du transect et des distances séparant chaque point d'échantillonnage, d'un ruban de balisage qui a permis de marquer les points d'échantillonnage, de pinces entomologiques utilisées pour la collecte des fourmis (Figure 17), de tube eppendoff contenant de l'alcool à 96° pour la conservation des échantillons de fourmis, d'alcool dilué à 70° et de glycérine utilisés pour réaliser les pièges fosses, La photographie des différents sites d'échantillonnage a été effectuée à l'aide d'un appareil photo numérique.

➤ Matériel d'observation et d'identification

Les paillettes, les pointes entomologiques et la colle hydrosoluble ont servi au montage des fourmis (Figure 18). Une loupe binoculaire a permis l'observation et l'identification des fourmis (Figure 19)



Figure 17: Quelques éléments du matériel d'échantillonnage et de conservation

a : Décamètre ; **b :** ruban de balisage ; **c :** Appareil photo numérique ; **d :** Pince entomologique ;
e: Tube eppendoff ;

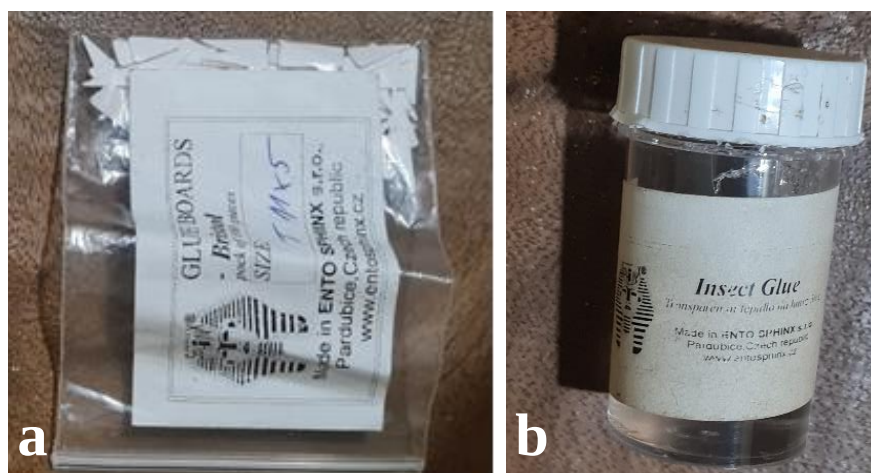


Figure 18 : Quelques éléments du matériel de montage de fourmis

a : Paillettes ; **b :** Colle hydrosoluble



Figure 19: Loupe binoculaire utilisée pour l'identification des échantillons

II.2. METHODES

II.2.1. Choix des parcelles d'études

L'étude a été menée dans les quatre départements de la région du Haut-Sassandra (Daloa, Issia, Zoukougbeu et Vavoua) afin d'assurer une représentation fidèle de l'ensemble de la région. Cette région a été choisie parce qu'elle appartient aujourd'hui à la boucle du cacao en Côte d'Ivoire, une zone clé de production nationale. Dans chaque département, neuf plantations de cacao ont été sélectionnées. Au total, 36 cacaoyères ont été sélectionnées pour l'ensemble de l'étude. Les parcelles ont été choisies en fonction d'un gradient d'âge dans chaque département. Il s'agissait de parcelles jeunes (0 - 10 ans), de parcelles d'âge intermédiaire (11 - 20 ans) et de parcelles âgées (21 ans et plus). Les trois classes de cacaoyères étaient représentées dans chaque département. En plus des plantations, des

collectes ont été effectuées dans six entrepôts de stockage de fèves de cacao situés dans le Haut-sassandra et San-pédro.

II.2.2. Collecte de données socio-entomologiques

Une enquête a été réalisée de novembre 2020 à janvier 2021 en adoptant une méthode semi-ouverte et déclarative. Les producteurs ont été interviewés individuellement concernant leurs plantations de cacaoyers. Il s'agit d'un questionnaire adressé aux cacaoculteurs pour recueillir des informations sur la cacaoculture dans leurs zones. Le questionnaire se subdivise en trois grandes parties (Annexe 1). La première partie est basée sur l'identification des cacaoculteurs c'est à dire leur profil. La seconde partie traite du précédent cultural, l'âge des parcelles, la superficie et le matériel végétal planté. Quant à la dernière partie, elle traite de l'impact des ravageurs, la gestion de la menace parasitaire, le niveau d'entretien des plantations de cacao, les traitements pesticides, la fertilisation et l'état de la parcelle. En se basant sur la liste des producteurs de la structure ECOOKIM l'interview des cacaoculteurs a été réalisée en tenant compte du type de parcelle (parcelles jeunes, intermédiaires et âgées). Au total, 360 cacaoculteurs (90 producteurs par départements) ont été enquêtés.

L'état d'une parcelle traduit le degré d'attaque de la parcelle par les insectes ravageurs, les maladies et les rongeurs. Ainsi, la parcelle de cacaoyer peut être en bon état ou non dégradée, peu dégradée, dégradée et très dégradée en fonction des caractéristiques ci-dessous à l'hectare (1333 pieds) :

- Les cacaoyères non dégradée ou en bon état sont des parcelles qui possèdent un taux d'attaque des pieds est compris entre 0 et 25 % ;
- Les cacaoyères peu dégradées sont des parcelles qui possèdent un taux d'attaque des pieds est compris entre 25 % et 50 %;
- Les cacaoyères dégradées sont des parcelles dont le taux d'attaque des pieds de cacaoyers est compris entre 50 % et 75 %;
- Les parcelles très dégradées sont des parcelles dont le taux d'attaque des pieds de cacaoyers est compris entre 75 % et 100 %.

II.2.3. Échantillonnage des fourmis

Trois méthodes ont été utilisées pour l'échantillonnage des fourmis. Il s'agit des méthodes de piège fosse, des appâts alimentaires et de battage (Majer, 1997). L'ensemble des trois méthodes a été appliquées autour d'un transect de 200 m dans chaque parcelle (Figure 14).

II.2.3.1. Installation des transects

Le transect des fourmis est un layon de 200 m de long (Figure 20). Il se compose de 20 sections équidistantes de 10 m autour desquels les échantillonnages sont effectués (Theunis, 2008). La mise en place du transect nécessite l'intervention de trois personnes. La première personne se positionne au point initial du transect, puis à l'aide de la boussole il vise la direction choisie en tenant le bout du décamètre. La seconde personne avance avec le décamètre en ouvrant un layon étroit en guise de chemin lorsque cela est nécessaire, jusqu'à atteindre le point final du transect. La troisième personne attache tous les 10 m, un morceau de ruban de balise aux arbustes ou toute autre forme de végétation. Sur ces rubans, il inscrit le code du transect et celui de l'échantillon à prélever à ce point (Yéo, 2006). Un transect est placé dans chaque verger de cacaoyer. Ces vergers avaient des superficies minimum de 2 ha.

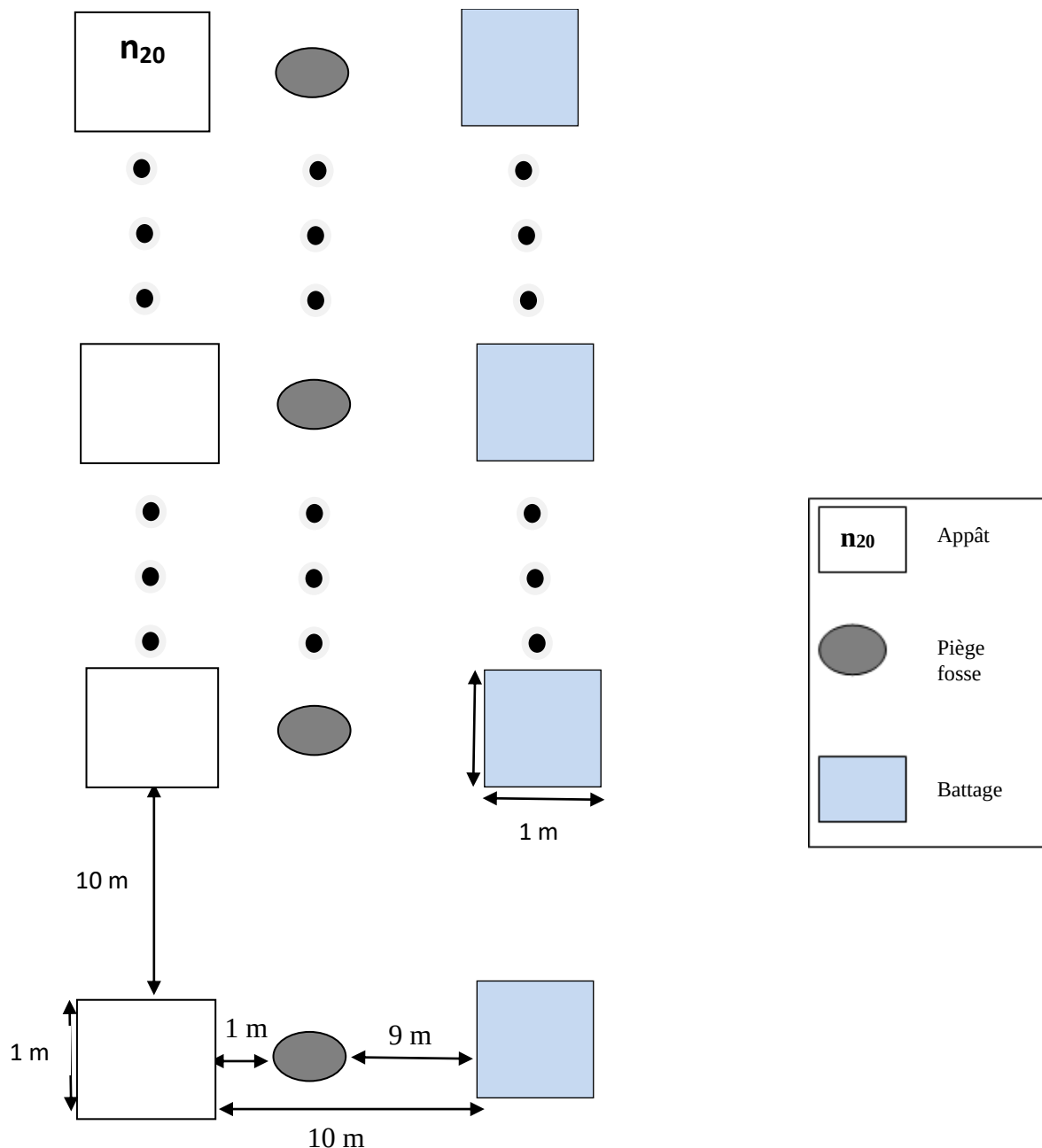


Figure 20 : Dispositif d'échantillonnage sur un transect (Yéo, 2006 modifié)

II.2.3.2. Méthode des pièges fosses

La méthode des pièges fosses est une composante du protocole ALL (Ants of the Leaf Litter). Elle permet de collecter les fourmis mobiles qui se promènent de jour comme de nuit. Pour la réalisation de cette méthode, des récipients communément appelés « gobelets » de même capacité (200 ml) ont été utilisés. Ces gobelets ont été placés dans le sol de sorte que leurs bordures supérieures soient au même niveau que la surface du sol. Les gobelets ainsi placés ont été remplis au quart de leur volume avec un mélange d'éthanol dilué à 70° et de la glycérine (Greenslade & Greenslade, 1971).

L'éthanol permet de fixer les fourmis collectées et l'addition de la glycérine limite son évaporation. Par la suite, les gobelets sont dissimulés et protégés avec des feuilles d'arbre contre d'éventuelle pluie qui pourrait dégrader la nature de la solution incluse (Figure 21). Au bout de 48 heures, le contenu du gobelet est transvasé dans un bocal et acheminé au laboratoire, puis trié avec une pince entomologique dans une boîte de Pétri. Les espèces de fourmis obtenues pendant le tri ont été conservées dans un tube eppendoff contenant de l'alcool à 96°.

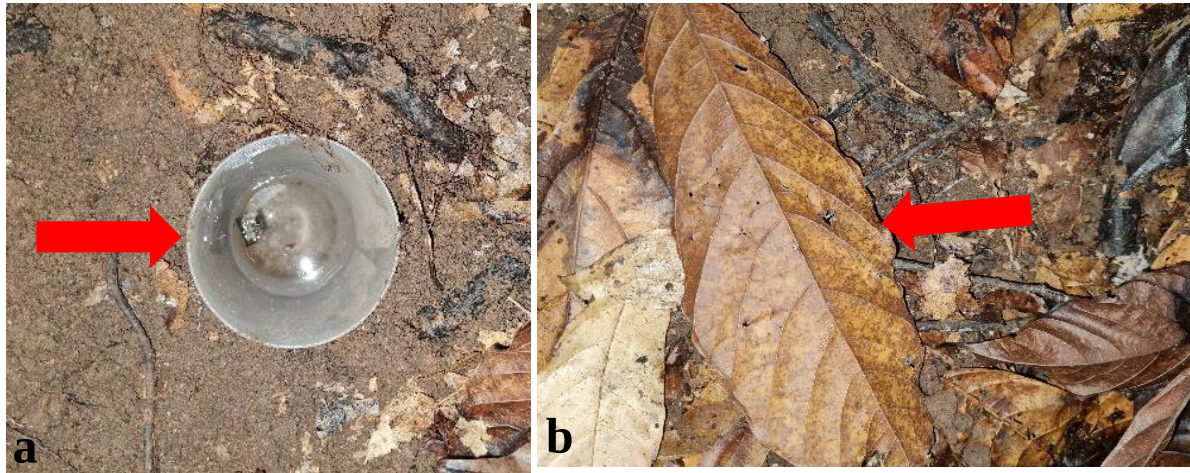


Figure 21: Piège fosse

a : piège ouvert ; **b :** piège dissimulé par des feuilles de cacaoyers

II.2.3.3. Méthode du battage

Cette méthode permet de collecter les fourmis arboricoles. Dans la pratique, une toile en coton d'un mètre carré est attachée aux quatre (04) piquets situés aux alentours du cacaoyer, de sorte à être placée sous son feuillage (Figure 22). Ensuite, les branches du cacaoyer sont vigoureusement tapées à l'aide d'un bâton afin de faire tomber les insectes sur la toile en dessous. Les fourmis tombées sont rapidement ramassées avec une pince entomologique et conservées dans un pilulier contenant de l'alcool à 96°.

II.2.3.4. Méthode des appâts alimentaires

Cette méthode est basé sur l'attractivité d'une ressource et cible les fourmis dominantes. Dans cette méthode, le thon en conserve (huileux) a été l'appât choisi. Des miettes de thon ont été placées à chaque section du transect (Figure 23). Au total, 20 points d'échantillonnages sont mis en place. Les prélèvements sont effectués au bout de 15 min, 30 min et 1 heure. Les fourmis collectées sont conservées dans de l'alcool à 96°.



Figure 22: Toile en coton d'un mètre carré attaché aux alentours d'un pied de cacaoyer, illustrant la méthode de battage



Figure 23: Appât alimentaire constitué de miettes de thon déposées sur une feuille de cacaoyer

II.2.3.5. Méthode de collectes manuelles

Cette méthode permet de rechercher les fourmis dans divers micro-habitats tels que le bois mort, les troncs d'arbres, les fruits tombés et la litière (Dieng *et al.*, 2016). Dans le cas de cette étude, les fourmis sont recherchées sous les palettes, entre les sacs de fèves et dans les coins et recoins des entrepôts. Elles sont capturées à l'aide de pinces, puis conservées dans des piluliers contenant de l'alcool et étiquetés. Cette méthode a été utilisée uniquement pour échantillonner les fourmis dans les six entrepôts de stockages.

II.2.3.6. Identification des fourmis collectées

Elle a été faite au laboratoire. Le contenu des piluliers est renversé dans des boîtes de pétri, puis chaque spécimen est monté pour observation. Le montage consiste à coller le spécimen sur une paillette triangulaire en papier de type « canson » à l'aide d'une colle hydrosoluble. La paillette est ensuite épinglée sur une pointe entomologique pour observation. Les fourmis sont tous identifiés sous une loupe binoculaire. L'identification des fourmis collectées nécessite au préalable la maîtrise de la morphologie et de la terminologie utilisées dans les descriptions de ces espèces par les myrmécologues taxonomistes. Les clés de détermination de Bolton (1994) ont permis d'identifier les fourmis jusqu'au niveau du genre, tandis que l'identification au niveau spécifique a été réalisée à l'aide des clés de Bolton (1974, 1982, 1983, 1986, 1987, 1995, 2000, 2003), de Bolton *et al.* (1976), de Bolton & Brown (2002), de Bolton & Fisher (2011) ainsi que d'Agosti & Johnson (2005). Le site www.antweb.org et la collection de référence de Yéo (2006) déposée à la station d'écologie de Lamto (Côte d'Ivoire) ont également été consultés.

II.2.4. Détermination de l'influence des fourmis sur les ravageurs

II.2.4.1. Evaluation de l'effet des *Oecophylla longinoda* sur les attaques de ravageurs

L'effet des fourmis rouges (*Oecophylla longinoda*) sur l'action des ravageurs a été évalué dans trois cacaoyères (parcelles) choisies en tenant compte des classes d'âges. Dans chaque cacaoyère, 60 pieds colonisés par des oecophylles et 60 pieds non colonisés par des oecophylles ont été choisis de façon aléatoire (Figure 24). Le nombre de cabosses saines et de cabosses infestées (cabosses attaquées par des ravageurs) a été déterminé. Cela a permis de déterminer la corrélation entre le nombre de cabosses saines / attaquées et la présence des oecophylles. Des observations ont été faites au niveau des feuilles, des branches et du tronc de chaque cacaoyer pour évaluer le pourcentage de dégâts sur les feuilles des cacaoyers et déterminer au niveau du tronc la présence ou l'absence des foreurs de tige.



Figure 24 : Pieds de cacaoyers

II.2.4.2. Collecte des insectes ravageurs de fèves en zone de stockage

La collecte des insectes ravageurs de fèves en stock a été faite pour cinq (05) sacs remplis de fèves, en utilisant un tamis et un grand bol (Figure 25). Elle commence par le tamisage, nécessitant la participation de deux personnes. Le tamis est placé sur le grand bol et les fèves de cacao sont déposées à l'intérieur du tamis. A partir d'un mouvement de va-et-vient, exécuté sur le tamis par les deux personnes, les fèves sont remuées de sorte à ce qu'elles soient séparées des insectes. Les insectes (ténébrions et larves de pyralidae) tombent dans le grand bol. A l'aide d'une pince entomologique, les insectes sont prélevés et placés à l'intérieur d'un tube eppendorf contenant de l'alcool à 96°.



Figure 25 : Dispositif de collecte des ténébrions

II.2.4.3. Evaluation du taux d'infestation des fèves par les ravageurs

Trois procédés ont été utilisés pour évaluer le taux d'infestation des fèves de cacao par les ravageurs de stock. Dans un premier temps, un sac en jute contenant 50 kg de fèves saines de cacao a été exposé volontairement aux infestations de ravageurs de fèves pendant un an puis la masse des fèves a été déterminée (l'expérience a été réalisée à trois reprises afin d'assurer la fiabilité des résultats) (Figure 26A). Dans un second temps, des échantillons de fèves saines sont mis dans des pochons d'un kilogramme qui sont ensuite infestés par des ténébrions (*Tribolium castaneum*) (Figure 26B). Après une semaine, la masse des pochons est mesurée chaque semaine pendant un mois. Cela permet d'évaluer la variation du taux d'infestation. La troisième expérience consistait à mettre en place 20 petits bocaux contenant chacun 20 fèves de cacao (Figure 27). Ensuite, 10 ténébrions (*T. castaneum*) ont été lâchés dans chaque bocal afin de mener leur activité d'infestation des fèves et le temps pris pour y parvenir.

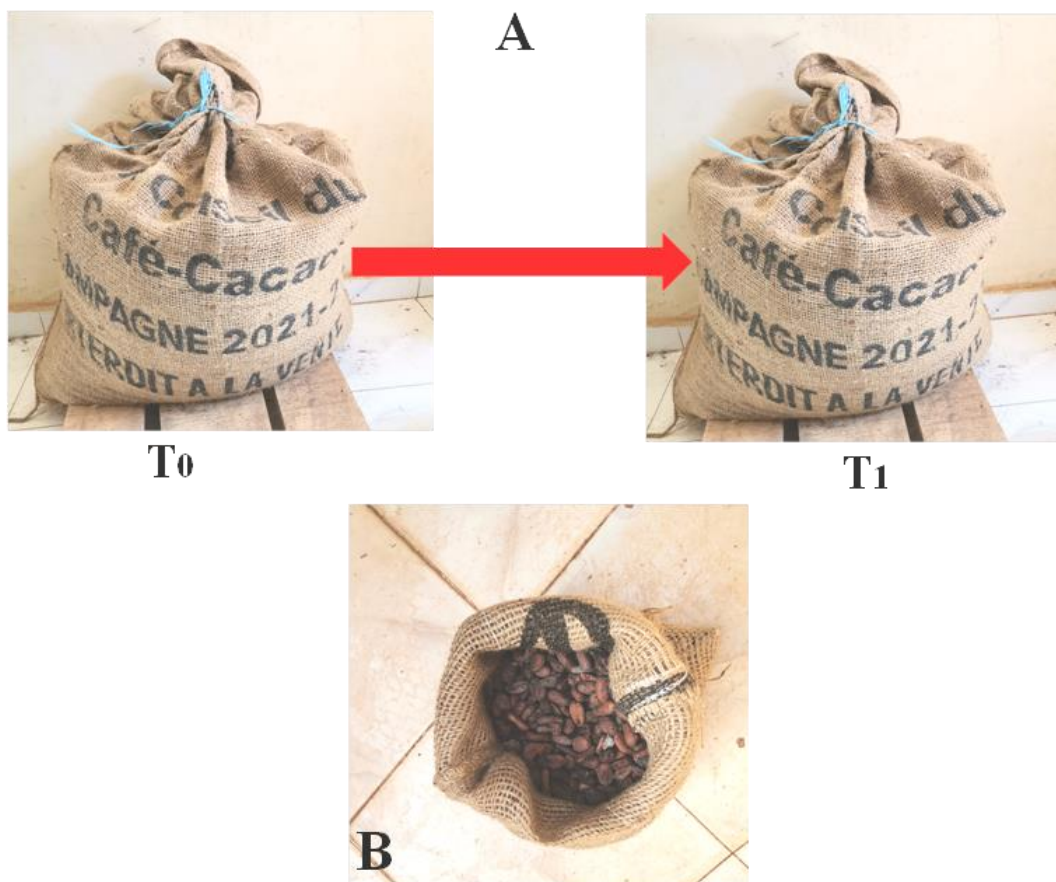


Figure 26: Sacs contenant des fèves de cacao

(T₀ : Fèves saines avant infestation ; T₁ : Fèves infestées après 1 an ; B : Pochon contenant 1 Kg de fèves)



Figure 27: Fèves de cacao destinées à être infestées par dix (10) ténébrions lachés dans un bocal

II.2.4.4. Test de prédation des fourmis (*Tapinoma melanocephalum*) sur les ravageurs

a. Effet de *Tapinoma melanocephalum* sur les ténébrions (*Tribolium castaneum*)

Deux dispositifs ont été mis en place pour évaluer la capacité de prédation des fourmis (*Tapinoma melanocephalum*) sur les ténébrions (*Tribolium castaneum*).

Le premier a consisté à mettre des échantillons de fèves saines dans des pochons d'un kilogramme, puis lacher 50 ténébrions à l'intérieur. Après trois jours, des fourmis sont incorporées dans les pochons. Ensuite, la prédation des fourmis (*Tapinoma melanocephalum*) sur les ténébrions a été observée et déterminée. En effet, le nombre de ténébrions morts en présence des fourmis a été dénombré.

Le dispositif 2 a consisté à mettre 10 ténébrions (*Tribolium castaneum*) dans un bac avec quelques fèves de cacao. Ensuite, les fourmis (*Tapinoma melanocephalum*) ont été déposées dans un autre bac relié au premier (Figure 28). Le taux de prédation des fourmis (*T. melanocephalum*) sur les ténébrions a été déterminé.

Les deux dispositifs ont été observés de façon journalière sur une période de 1 mois.

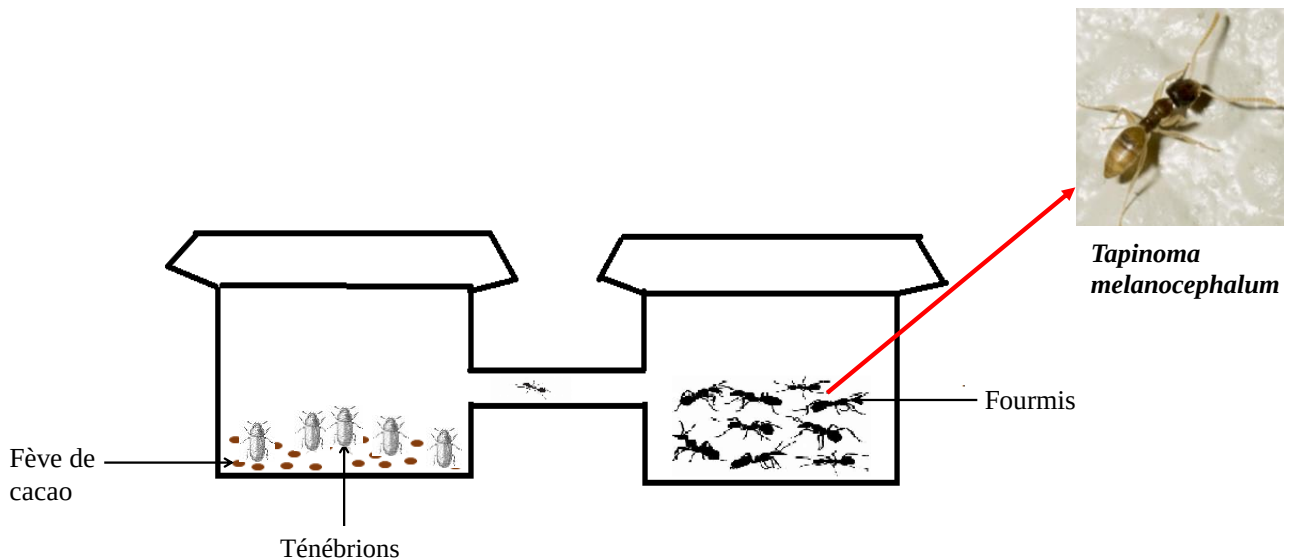


Figure 28: Dispositif d'évaluation du taux de prédation des ténébrions par les fourmis

b. Effet de *Tapinoma melanocephalum* sur les larves de pyralidae (*Ephestia cautella*)

Cette expérimentation a été mise en place pour évaluer la capacité de prédation des fourmis (*Tapinoma melanocephalum*) sur les larves de pyralidae. Le premier lacher consiste à mettre des échantillons de fèves saines dans des pochons d'un kilogramme, puis 50 larves de pyralidae (*Ephestia cautella*) à l'intérieur des pochons. Après trois jours, des fourmis sont incorporées dans les pochons, puis la prédation des fourmis (*T. melanocephalum*) sur les larves des pyralidae (*Ephestia cautella*) est observée et déterminée.

II.2.5. Analyse des données de la myrmécofaune des différents vergers de cacao

II.2.5.1. Evaluation de l'efficacité de l'échantillonnage

L'efficacité de l'échantillonnage se réfère à la capacité des méthodes utilisées pour recueillir des données sur la diversité des fourmis dans un écosystème donné, tout en minimisant les coûts, le temps et les efforts, tout en maximisant la précision des estimations. Cela implique de choisir des méthodes d'échantillonnage adaptées pour détecter le plus grand nombre d'espèces possible, en tenant compte des variations spatiales et temporelles de ces espèces. Ainsi, quatre procédés ont été utilisés : le taux de recouvrement, les courbes d'accumulation des espèces en fonction de la surface échantillonnée, les espèces uniques récoltées dans les différents vergers et l'auto-similarité entre les transects à l'intérieur de chaque habitat.

II.2.5.1.1. Auto-similarité entre les transects

L'auto-similarité selon Cao *et al.* (2002) est la similarité moyenne entre les répliques d'un échantillonnage. La similarité entre une communauté et un échantillon de celle-ci peut être considérée comme une mesure de la fidélité avec laquelle l'échantillon représente la communauté. Ainsi, quand tous les répliques sont similaires (similarité proche de 1), l'échantillonnage peut être qualifié de représentatif de la communauté. Par contre, s'ils sont hautement différents les uns des autres (similarité proche de 0), la communauté est insuffisamment représentée par les échantillons. Cao *et al.* (2002) proposent que l'auto-similarité soit mesurée au moyen d'indices binaires de similarité (c'est-à-dire ceux qui utilisent les incidences) car ils donnent une mesure plus stricte de la représentativité par rapport aux indices basés sur l'abondance des espèces. Les deux indices les plus utilisés, à savoir l'indice de Jaccard (S_j) et de Sorensen (I_s) ont été utilisés et les transects ont été considérés comme répliques au sein des habitats. Les valeurs des indices varient entre 0 et 1.

$$S_j = \frac{a}{a+b+c}$$

$$I_s = \frac{2a}{2a+b+c}$$

a : est le nombre total d'espèces à partir de la fusion des listes d'espèces des deux habitats;

b : le nombre d'espèces dans le premier habitat;

c : le nombre d'espèces dans le deuxième habitat

II.2.5.1.2. Courbes d'accumulations des espèces

Les courbes d'accumulation (Gotelli & Colwell, 2001) fournissent une représentation graphique de la richesse spécifique et permettent de comparer celle-ci entre les différents milieux, en fonction des méthodes employées dans les parcelles de cacaoyers des départements de Daloa, Issia, Zoukougbeu et Vavoua. Elles offrent un moyen d'évaluer l'efficacité des méthodes utilisées dans chaque environnement. Les courbes d'accumulation des espèces ont été réalisées à partir des données obtenues par le logiciel EstimateS version 9.1.0.

II.2.5.1.3. Espèces uniques

Les espèces uniques font référence à des espèces qui sont exceptionnelles ou qui possèdent des caractéristiques distinctes, les rendant différentes des autres espèces dans un écosystème ou un environnement donné (Myers *et al.*, 2000). Cela peut inclure des espèces qui sont endémiques à une région spécifique, ou qui présentent des caractéristiques

biologiques ou écologiques rares, comme des adaptations particulières à leur environnement. Ces espèces sont souvent considérées comme ayant une grande valeur biologique et écologique.

II.2.5.1.4. Taux de recouvrement

La représentativité d'un échantillonnage étant étroitement liée à l'efficacité de la méthode utilisée, la détermination de celle-ci est essentielle pour comparer la richesse et la composition spécifique entre différents habitats. Pour ce faire, deux procédés sont utilisés. Il s'agit des courbes d'accumulation des espèces basées sur l'effort de récolte et le calcul du taux de couverture de l'échantillonnage (Gotelli & Colwell, 2001).

$$\text{Taux de couverture de l'échantillonnage} = (S_{\text{obs}}/S_{\text{est}}) \times 100$$

II.2.5.2. Richesse spécifique

La richesse spécifique (S) représente le nombre total d'espèces échantillonnées dans un environnement spécifique (Morin & Findlay, 2001), correspondant au nombre d'espèces identifiées à partir de relevés réalisés sur différentes stations (Blondel, 1979). Elle joue un rôle essentiel dans la détermination de la richesse spécifique observée (S_{obs}) et de la richesse spécifique estimée (S_{est}). L'estimateur non paramétrique Chao 2 a été calculé à l'aide du logiciel EstimateS version 7.0 (Colwell, 2004) pour estimer la richesse spécifique attendue dans les habitats.

II.2.5.3. Abondance

L'abondance exprime le nombre d'incidence (absence/présence) totale des espèces collectées au cours de l'échantillonnage (Magurran, 2004). La présence d'une espèce est matérialisée par le chiffre **1** et l'absence par **0**. Le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé pour comparer l'abondance entre les milieux et le test LSD de Fisher quant à lui a permis d'apprécier l'homogénéité des valeurs de l'abondance absolue obtenues. Le logiciel R version 2.8 a permis également de représenter certaines abondances.

II.2.5.4. Indice de Simpson

L'indice de Simpson (D), tel que décrit par Morin et Findlay (2001), mesure la probabilité que deux individus choisis au hasard dans une population infinie de N individus soient de la même espèce. Son calcul s'est fait selon la formule suivante :

$D = 1 - \sum (p_i)^2$, D = dominance d'espèce, P_i : nombre d'individus de l'espèce donnée.

$$1-D = \sum p_i^2 \quad p_i = n_i / N$$

1-D: indice de diversité de Simpson,

n_i: nombre d'individus de l'espèce i,

N: nombre total d'individus

L'indice de Simpson varie entre 0 et 1. La diversité est minimale pour **1-D = 0** et maximale pour **1-D = 1**.

II.2.5.5. Équitabilité de Simpson

Pour un peuplement donné, l'équitabilité permet d'évaluer la distribution des individus parmi les différentes espèces présentes (Barbault, 1982). Ainsi, le calcul de l'indice de diversité spécifique doit toujours être accompagné de celui de l'équitabilité, car deux peuplements ayant des structures différentes peuvent afficher la même diversité (Barbault, 1982). L'équitabilité de Simpson (E) se calcule en rapportant l'inverse de l'indice (1/D) à la richesse spécifique observée (S_{obs}) du peuplement étudié (Smith & Wilson, 1996 ; Krebs, 1999), selon la formule suivante:

$$E = \frac{(1/D)}{S_{obs}}$$

La valeur de l'équitabilité varie de 0 à 1. Cette valeur est une mesure objective du degré de diversité atteinte, affranchie du facteur S. Elle est égale à 1 quand toutes les espèces du peuplement ont la même abondance.

II.2.5.6. Analyse de variances

L'analyse de la variance (Anova) est une technique permettant de comparer les moyennes de deux ou plusieurs échantillons.

L'Anova à un facteur a été réalisée avec le logiciel Statistica (version 7.1) pour déterminer séparément si certaines variables (abondance, richesse spécifique, indice de diversité et taux

d'infestation des fèves) étaient significativement différentes entre les différents départements. Elle a également été utilisée pour déterminer le niveau de corrélation entre le nombre de cabosses saines (ou attaquées) et la présence des fourmis oecophylles dans les différents vergers. Lorsque l'analyse de variance conclut à une différence significative ($p < 0,05$) entre les groupes, un test (test post-hoc de Tukey ou test de Newman-Keuls) est réalisé pour savoir lesquels des groupes sont différents et dans quel ordre ils sont rangés.

II.2.5.7. Analyse de classification hiérarchique ascendante

Méthode d'analyse utilisée pour mettre en évidence des similitudes, la classification hiérarchique ascendante (CAH) consiste à rassembler des individus selon un critère de ressemblance défini au préalable qui s'exprimera sous la forme d'une matrice de distances. Pour ce faire, deux observations identiques auront une distance d'aggrégation nulle. Plus les deux observations seront dissemblables, plus la distance d'aggrégation sera importante. La CAH va ensuite rassembler les individus de manière à produire un dendrogramme ou un arbre de classification. Le découpage de cet arbre à différente hauteur permet de produire la partition des différents groupes ou classes. Dans notre étude, la CAH a été utilisée pour mettre en évidence la similitude des milieux en fonction de l'abondance des espèces et de la richesse spécifique. Elle a également permis de mettre en évidence la similitude de la richesse spécifique en fonction de la méthode d'échantillonnage.

II.2.5.8. Carte auto organisatrice de Kohonen

L'ordination des quadrats des différents sites d'études en fonction des variables environnementales et des assemblages des fourmis a été réalisée à l'aide de la carte auto organisatrice de Kohonen (Self Organizing Maps (SOM)) (Kohonen, 1982, 1995, 2001). Cette méthode de classification non linéaire a l'avantage de représenter visuellement des profils simplifiés à partir des bases de données complexes en identifiant des groupes semblables (Lek *et al.*, 2000 ; Kohonen, 2001 ; Park *et al.*, 2003). Contrairement aux méthodes classiques, la SOM traite les données extrêmes, très souvent contenues dans les bases de données écologiques (Lek *et al.*, 1996, 2000, Brosse *et al.*, 1999, 2001 ; Giraudel & Lek, 2001). Les cartes auto-organisatrices de Kohonen sont des réseaux de neurones non-supervisés qui permettent d'ordonner et de classer des échantillons en fonction de leur similarité. La SOM se compose de deux couches de neurones. La couche d'entrée, constituée de la matrice de données, est directement reliée à la couche bidimensionnelle de sortie dite carte de Kohonen, composée de neurones artificiels de sortie ou nœuds. Le nombre de nœuds est choisi à la suite

d'un calcul de l'erreur topographique qui est un indicateur de la façon dont la carte est préservée (Alhoniemi *et al.*, 2000). Cette erreur topographique doit être inférieure à 1 (Park *et al.*, 2003). Le procédé de la SOM est de rechercher des similarités entre les données observées et de les représenter dans la carte de sortie en préservant les voisinages. Cette analyse a permis de regrouper les quadrats selon des degrés d'intensité des variables environnementales et des abondances de fourmis. Ces analyses ont été réalisées grâce au logiciel Matlab (version 7.6).

TROISIEME PARTIE : RESULTATS & DISCUSSION

III.1. RESULTATS

III.1.1. CARACTERISATIQUE SOCIO-ENTOMOLOGIQUE DES VERGERS DE CACAOYERS DANS LA REGION DU HAUT-SASSANDRA

III.1.1.1. Typologie des producteurs, précédents culturels des cacaoyères et taille des vergers

Au total, 360 producteurs de cacao ont été interviewés dans les quatre départements. Les Autochtones sont plus représentés avec un taux de 54 % des personnes enquêtées, tandis que les Allochtones représentent 46 % des producteurs interrogés (Tableau III). La plus grande partie des producteurs (60 %) a un âge compris entre 35 et 60 ans. Les jeunes dont l'âge est compris entre 18 et 35 ans sont moins nombreux (12 %). Par contre, les producteurs âgés de plus de 60 ans sont relativement plus nombreux que ceux dont l'âge est compris entre 18 et 35 ans. Près de la moitié des cacaoculteurs interrogés sont analphabètes (48 %). Le pourcentage des cacaoculteurs ayant un niveau d'étude primaire est de 35 %. Peu de cacaoculteurs ont un niveau d'étude secondaire (15 %) et supérieur (2 %). La moitié des plantations de cacao ont été mis en place par chaque producteur interviewé (51 %). Par contre, 41 % et 8 % des cacaoyères sont respectivement acquis par achat et par héritage.

Les résultats montrent que 96,67 % des producteurs interrogés sont des hommes tandis que les femmes ne représentent que 3,33 % (Tableau IV). 89 garçons et 1 femme ont été interviewés dans chacun des départements de Zoukougbeu et d'Issia. Dans le département de Daloa, 83 hommes et 7 femmes ont été interviewés. Quant au département de Vavoua, 87 hommes et 3 femmes ont été échantillonnées. Les 360 planteurs enquêtés avaient environ 1166,65 ha de cacaoyers.

Les cacaoyères sont établies sur cinq principaux types de précédents culturels (Figure 29). Le précédent « forêt » représente 49,17 % du verger. Par contre, les précédents culturels tels que les anciennes plantations de cacaoyers, de caféiers, les champs de cultures vivrières et les jachères représentent respectivement 23,61 %, 15,28 %, 2,22 % et 9,72 %. L'enquête révèle que les superficies des plantations sont comprises entre 0,5 et 12 ha. Les tailles moyennes par producteur ne sont statistiquement pas différentes d'un département à un autre (Anova, $p = 0,43$) (Figure 30). L'ensemble des plantations étant des exploitations de type familial, la plupart des cacaoyères couvrent en moyenne 3,24 ha par producteur. Hormis une poignée d'agriculteurs cultivant la variété améliorée du CNRA (*mercedes*), la plupart des producteurs utilise le matériel végétal « tout venant ».

Tableau III : Caractéristiques des producteurs de cacao enquêtés

Indicateurs	Modalités	Proportion (%)
Age des producteurs	[18 - 35 ans]	12
	]35 - 60 ans]	60
	Plus de 60 ans	28
Niveau d'étude	Analphabète	48
	Primaire	35
	Secondaire	15
	Supérieur	2
Mode d'acquisition de la plantation	Créé par soi-même	51
	Achat	41
	Héritage	8
Origine producteur	Autochtone	54
	Allochtone	46

Tableau IV : Répartition par zone de production des planteurs et des surfaces enquêtées en fonction des départements

Zone de production	Départements	Nombre d'agriculteurs		Superficie totale (ha) des parcelles enquêtées
		Hommes	Femmes	
Hautassandra	Daloa	83	7	242,3
	Issia	89	1	323,1
	Zoukougbeu	89	1	298,75
	Vavoua	87	3	302,5
Total		348	12	1166,65

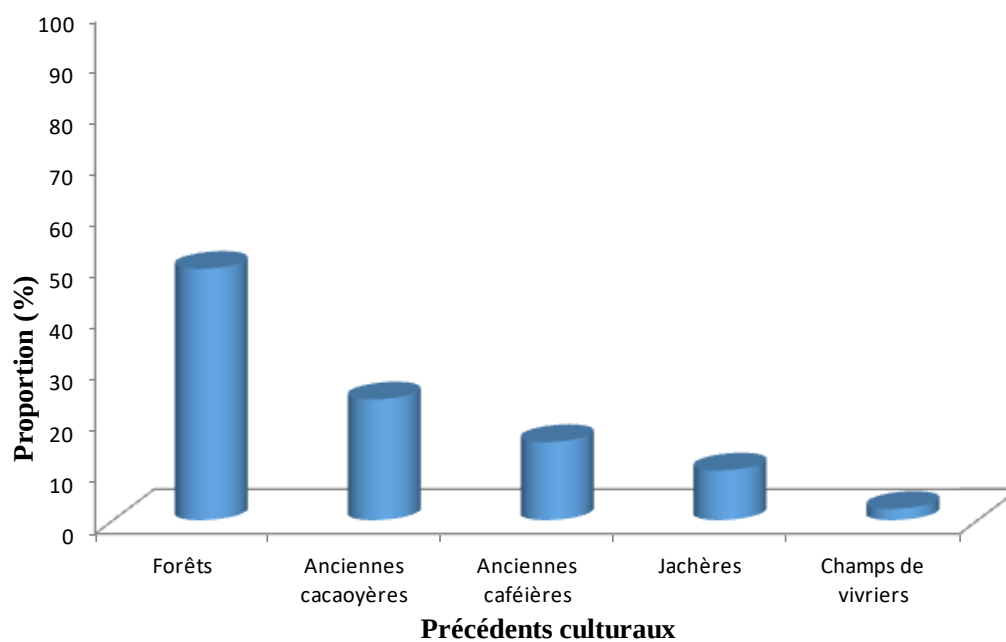


Figure 29: Répartition des cacaoyères en fonction des précédents cultureux.

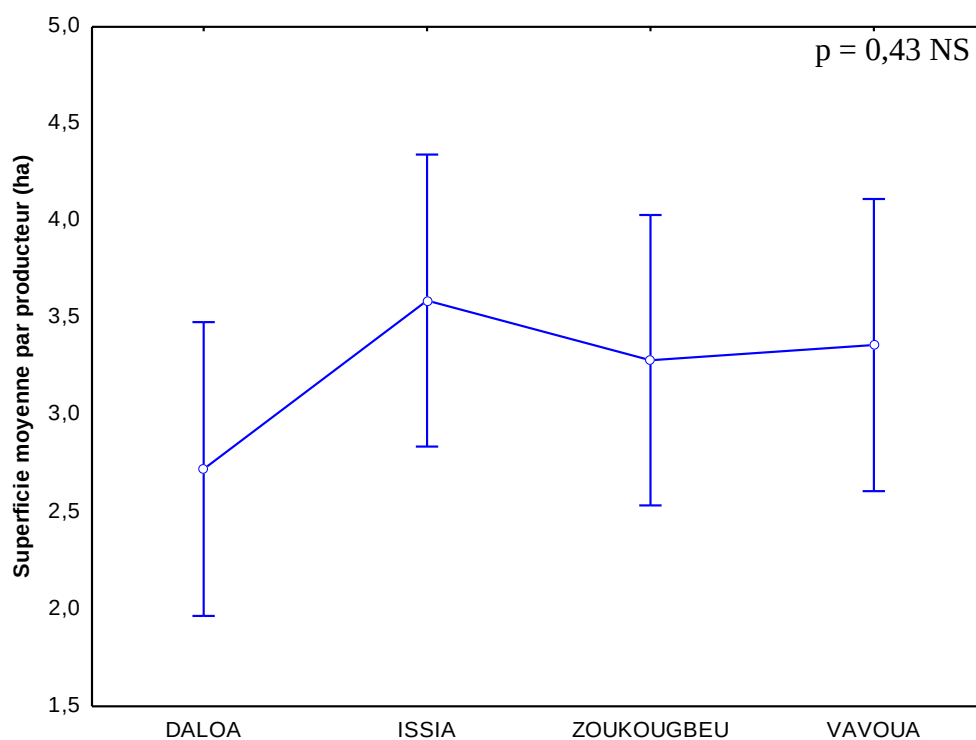


Figure 30: Superficie moyenne des cacaoyères par producteur

Anova, $p = 0,43$; NS : Non Significatif

III.1.1.2. Bioagresseurs des exploitations

En plus de la maladie du swollen shoot et de la pourriture brune, les producteurs notent six principaux bioagresseurs responsables des dégâts majeurs dans leurs plantations (Figure 31). Trois groupes d'insectes ont été cités comme les plus préoccupants. Il s'agit des mirides qui s'attaquent aux fruits et aux rameaux, les foreurs de tiges qui creusent des galeries profondes dans le tronc et les branches et la punaise verte qui s'attaque au fruit du cacaoyer.

Les termites, les chenilles et les cochenilles sont responsables de certains dégâts. Ces derniers sont considérés comme moins préoccupants par les producteurs au vu de leurs dégâts par rapport à ceux précités.

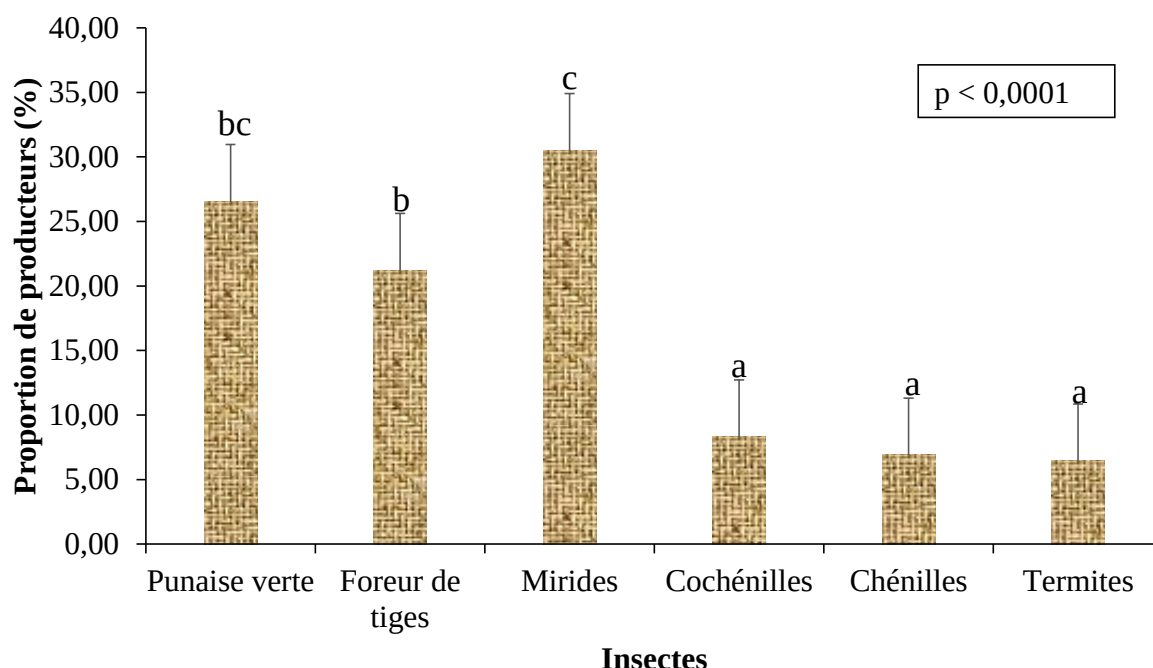


Figure 31: Proportion de producteurs rencontrant les ravageurs identifiés dans leurs vergers

III.1.1.3. Répartition des insectes selon le gradient d'âge des cacaoyers

Dans les parcelles dont l'âge est compris entre 0 - 10 ans, les abondances des insectes varient significativement ($p = 0,0005$) (Figure 32). La punaise verte et les foreurs de tiges constituent les groupes dominants tandis que les mirides, les termites, les cochenilles et les chenilles sont faiblement représentés.

Concernant les parcelles dont l'âge est compris entre 11 - 20 ans, les abondances des insectes varient significativement ($p = 0,0157$). Les foreurs de tiges, la punaise verte et les mirides constituent les groupes dominants alors que les chenilles et les termites sont faiblement représentés avec une absence de cochenilles.

Au niveau des parcelles de plus de 20 ans, les abondances des insectes varient significativement ($p = 0,0001$). Les foreurs de tiges, la punaise verte et les mirides sont les groupes dominants par contre les cochenilles, les chenilles et les termites sont faiblement représentés.

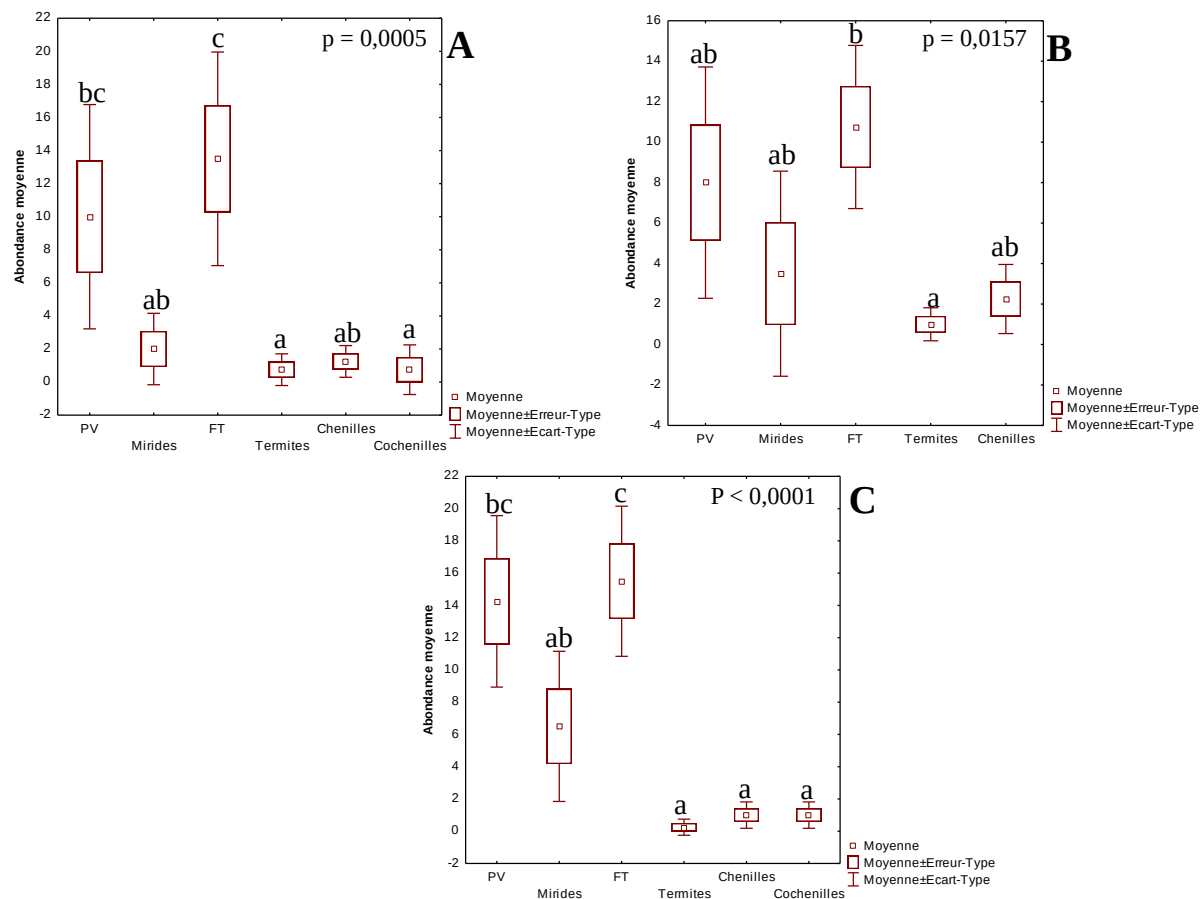


Figure 32: Répartition des insectes en fonction des classes d'âge

A : Parcelles de 0 à 10 ans; **B :** parcelles de 11 à 20 ans; **C :** Parcelles de plus de 20 ans ; **PV :** Punaise verte ; **FT :** Foreurs de tige. Les abondances moyennes avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test de Newman-Keuls)

III.1.1.4. Répartition des insectes en fonction de l'ensemble des classes d'âge confondues

La répartition des insectes en fonction de toutes les classes d'âge confondues montre une différence significative ($p < 0,0001$) au niveau de l'abondance relative des insectes (Figure 33). Les foreurs de tige et la punaise verte possèdent les abondances moyennes les plus élevées, suivies de celle des mirides. Par contre les abondances moyennes les plus faibles sont observées chez les termites, les chenilles et les cochenilles.

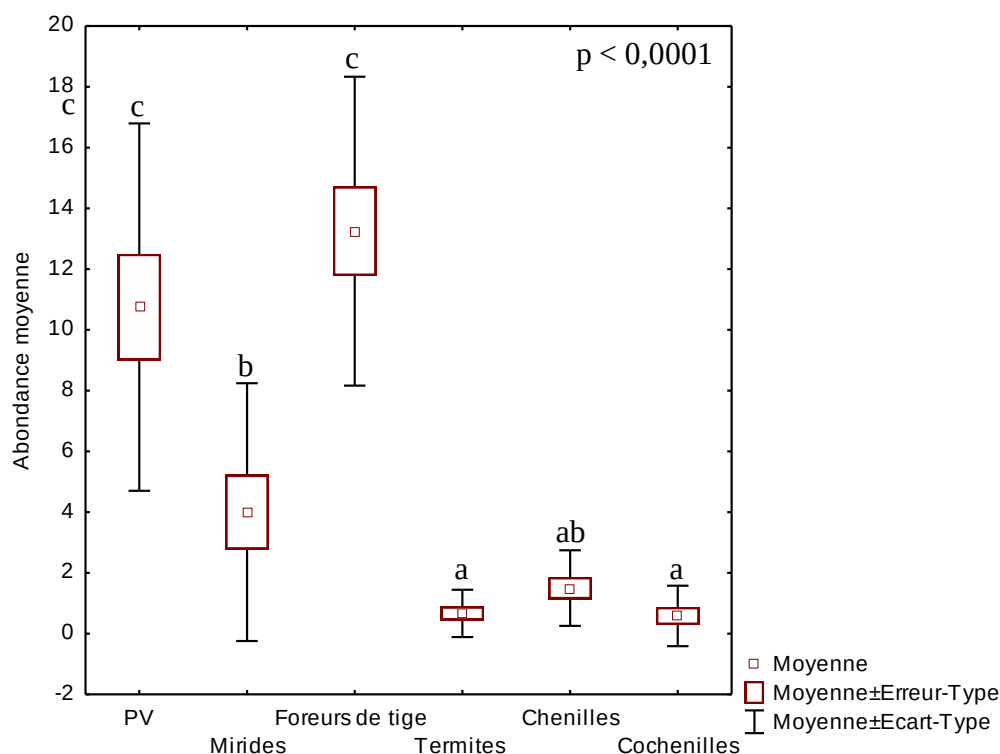


Figure 33: Répartition des insectes en fonction de l'ensemble des classes d'âge confondues

PV : Punaise verte. Les histogrammes ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test LSD de Fisher)

III.1.1.5. Etat de santé des différents classes d'âges des vergers

L'analyse de l'état des parcelles montre des différences significatives dans chaque classe d'âge (Figure 34). Dans les cacaoyères âgées de 0 à 10 ans, l'état de santé des vergers varient significativement (Anova, $p = 0,000001$). Les parcelles en bon état (110) sont plus nombreuses tandis que celles peu dégradées (06), dégradées (03), et très dégradées (00) sont moins nombreuses.

L'état de santé des vergers de 11 - 20 ans varie significativement (Anova, $p = 0,00059$). Les vergers en bon état (79) sont en grand nombre par contre ceux qui sont peu dégradé (26), dégradé (13) et très dégradé (02) sont en nombre inférieur.

L'état de santé des cacaoyères de plus de 20 ans varie significativement (Anova, $p = 0,023$). Les parcelles dégradées (50) sont les plus nombreuses, elles sont suivies de celles en bon état (40), puis peu dégradées (21). Les vergers très dégradés sont les moins nombreux (09).

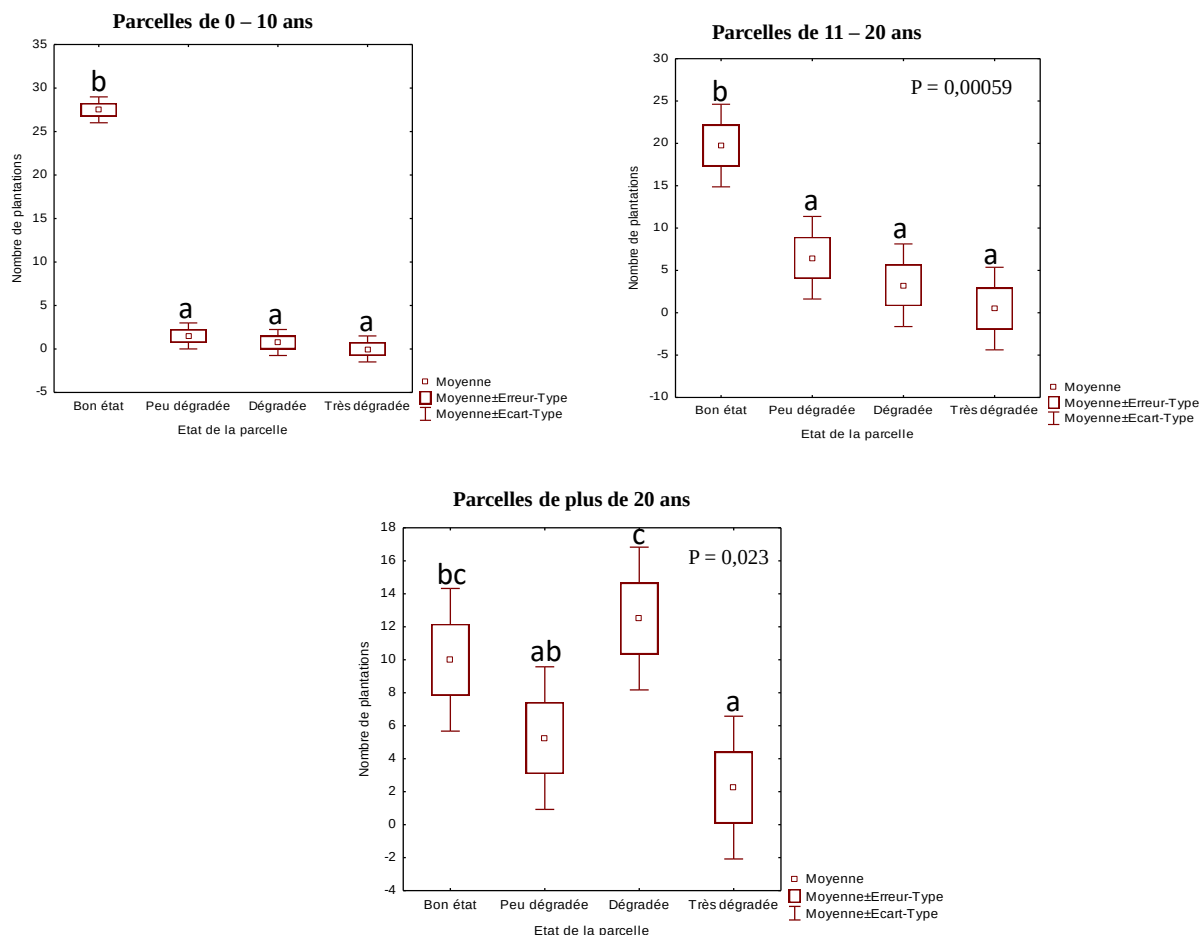


Figure 34: Variabilité de l'état de santé des classes d'âges des vergers de cacaoyers

Les abondances moyennes avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes selon le test LSD de Fisher ($p > 0,05$)

III.1.1.6. Type de traitement et répartition des pesticides dans les différentes classes d'âges des parcelles

La figure 35 présente la répartition des pesticides utilisés par les cacaoculteurs dans leurs vergers. Les insecticides sont plus utilisés pour le traitement des trois classes de parcelles. Les herbicides et les biocides ne sont quasiment pas utilisés par les cacaoculteurs tandis que les fongicides sont faiblement appliqués dans les vergers de 0 - 10 ans, de 11-20 ans et de plus de 20 ans.

Quant aux types de traitements, il faut noter que les pesticides sont utilisés à 90 % contre 6 % pour les fertilisants. Une faible proportion de producteurs (4 %) n'applique aucun traitement (Figure 36).

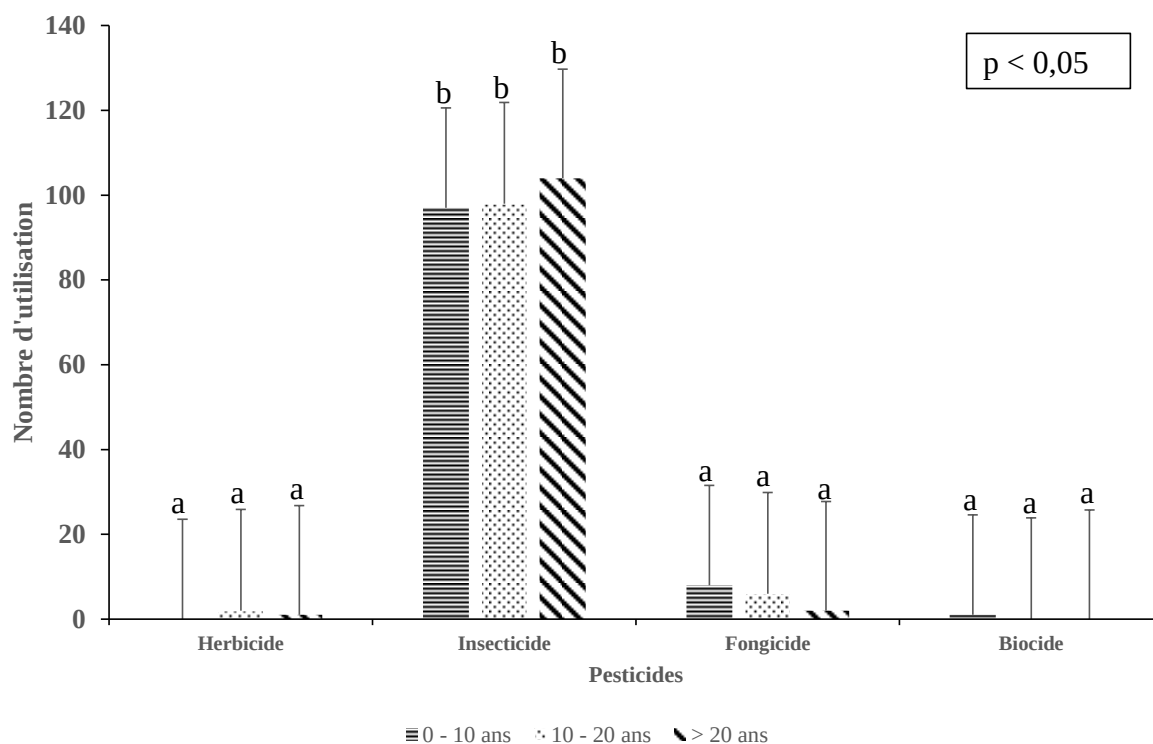


Figure 35: Répartition des pesticides utilisés en fonction des classes d'âges des parcelles

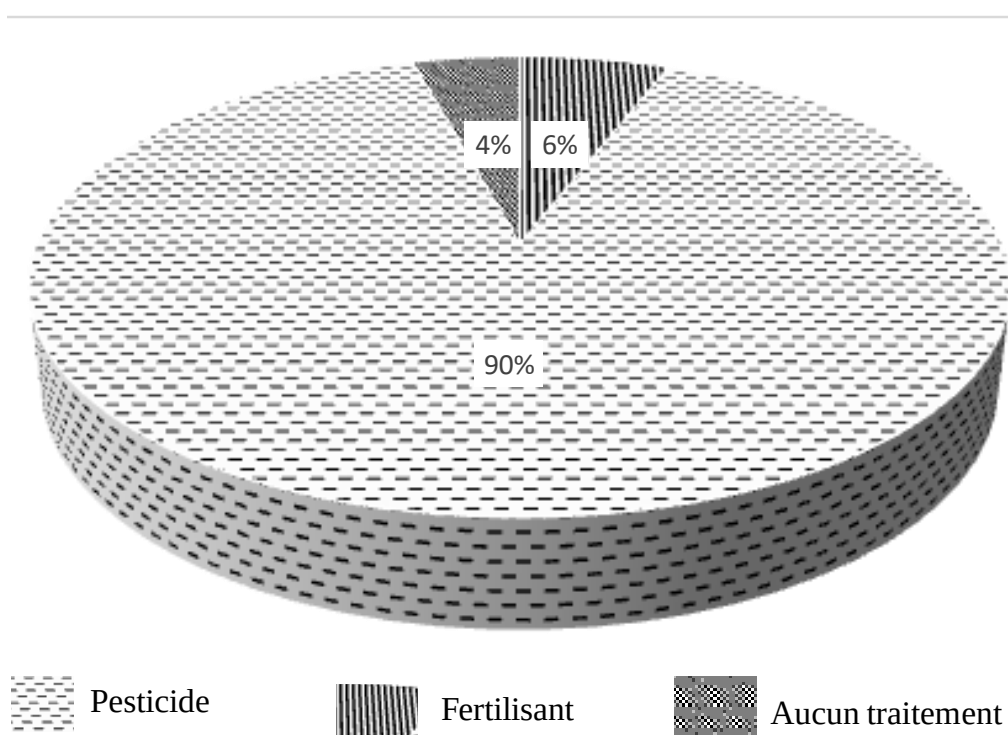


Figure 36 : Traitements appliqués dans les différentes parcelles

III.1.2. DIVERSITÉ ET ABONDANCE DES FOURMIS ASSOCIÉES AUX VERGERS DE CACAOYERS ET AUX ENTREPÔTS DE STOCKAGES

III.1.2.1. Efficacité de l'échantillonnage

Avec une moyenne de 76,5 %, le taux de couverture de l'échantillonnage varie entre 70 et 80 %. L'auto-similarité des peuplements de fourmis par catégorie de vergers (ou similarité entre les transects d'un même habitat) varie très peu. Elle est largement supérieure à 50 % pour tous les départements, Issia (0,55), Vavoua (0,56), Daloa (0,60) et Zoukougbeu (0,62). Le nombre des espèces uniques est peu élevé de manière générale au regard de la richesse spécifique connue de la faune myrmécologique (Tableau V).

Tableau V : Bilan statistique de l'effort de récolte des fourmis dans les quatre départements

Paramètres de peuplement mesurés	Daloa	Issia	Zoukougbeu	Vavoua
Richesse spécifique observée (Sobs)	51	51	52	42
Richesse spécifique attendue (Chao 2)	63,52	71,22	59,22	52,95
Taux de couverture de l'échantillonnage (%)	80,29	71,61	78,27	75,7
Nombre d'espèces uniques	6	13	7	2
Auto-similarité	0,60	0,55	0,56	0,62

Les courbes d'accumulation des espèces de fourmis observées et attendues ont été analysées pour les trois catégories de plantations 0-10 ans, 11-20 ans et >20 ans par département.

❖ Département de Daloa

Pour l'ensemble des catégories de vergers, les courbes d'accumulation des espèces observées (Sobs) ont une allure presque asymptotique, contrairement à celles de la richesse spécifique attendue (Chao2) (Figure 37). Il n'existe pas un fort rapprochement entre les deux courbes au bout de trois transects explorés. On note plutôt une augmentation de l'écartement des deux courbes ; ce qui indique une présence potentielle d'espèces non encore récoltées.

❖ Département d'Issia

De manière générale, les courbes d'accumulation des espèces de fourmis observées (Sobs) et des espèces attendues (Chao2) ne présentent pas d'allure asymptotique. Le rapprochement des deux courbes pour les vergers 0-10 ans et > 20 ans est plus perceptible que celles représentant les vergers de la classe d'âge 11-20 ans. L'écart entre les courbes augmente avec la surface

échantillonnée (Figure 38). Un échantillonnage additionnel était nécessaire pour récolter plus d'espèces de fourmis telles que cela est suggéré par le nombre élevé d'espèces uniques.

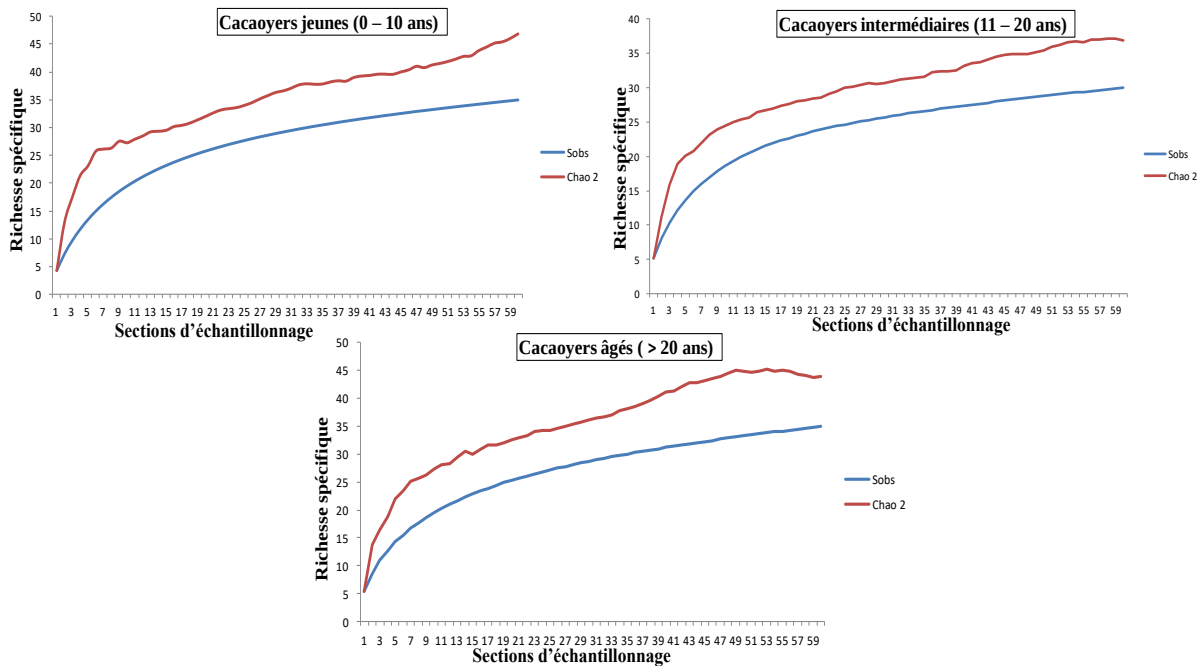


Figure 37: Courbes d'accumulation des espèces de fourmis observées et attendues en fonction de la surface échantillonnée dans le département de Daloa

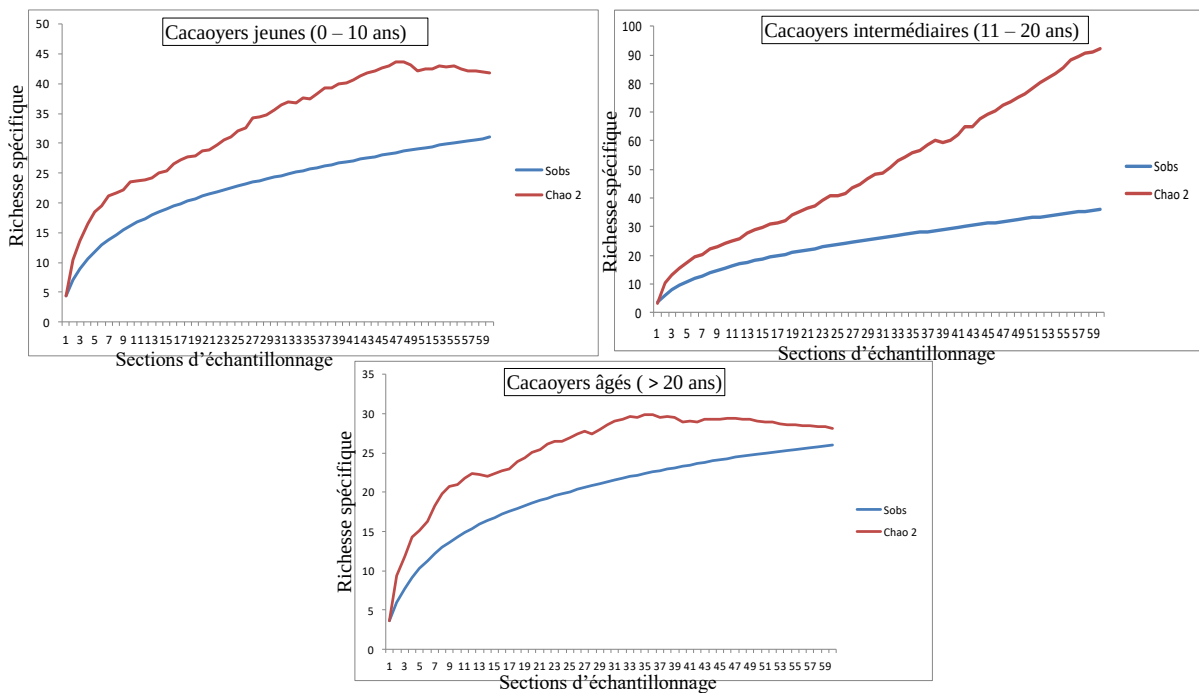


Figure 38: Courbes d'accumulation des espèces de fourmis observées et attendues en fonction de la surface échantillonnée dans le département d'Issia

❖ Département de Vavoua

Les courbes d'accumulation des espèces observées (Sobs) représentatives des vergers 0-10 ans et > 20 ans ont une allure presque asymptotique contrairement à celle des vergers de 11 à 20 ans. Les courbes de la richesse spécifique attendue (Chao2) se rapprochent des courbes de la richesse observée pour les vergers 0-10 ans et 11-20 ans ; cela n'est pas le cas pour les vergers > 20 ans (Figure 39). L'échantillonnage de transects supplémentaires permettrait de récolter d'autres espèces.

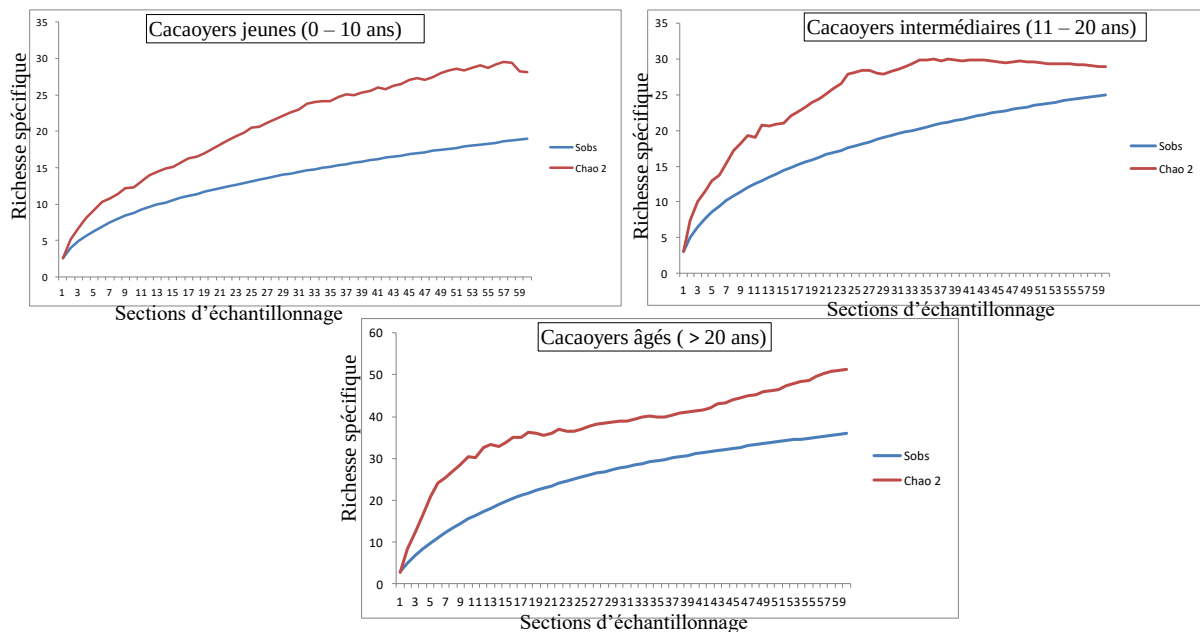


Figure 39 : Courbe d'accumulation des espèces de fourmis observées et attendues en fonction de la surface échantillonnée dans le département de Vavoua

❖ Département de Zoukougbeu

De manière générale, les courbes d'accumulation des espèces observées (Sobs) montrent une tendance asymptotique. Hormis les vergers 0-10 ans, les courbes de la richesse spécifique attendue (Chao2) semblent se rapprocher des premières avec une augmentation de la surface échantillonnée (Figure 40). Le nombre d'espèces uniques est faible ; ce qui indique qu'il n'était pas nécessaire d'investiguer des transects supplémentaires.

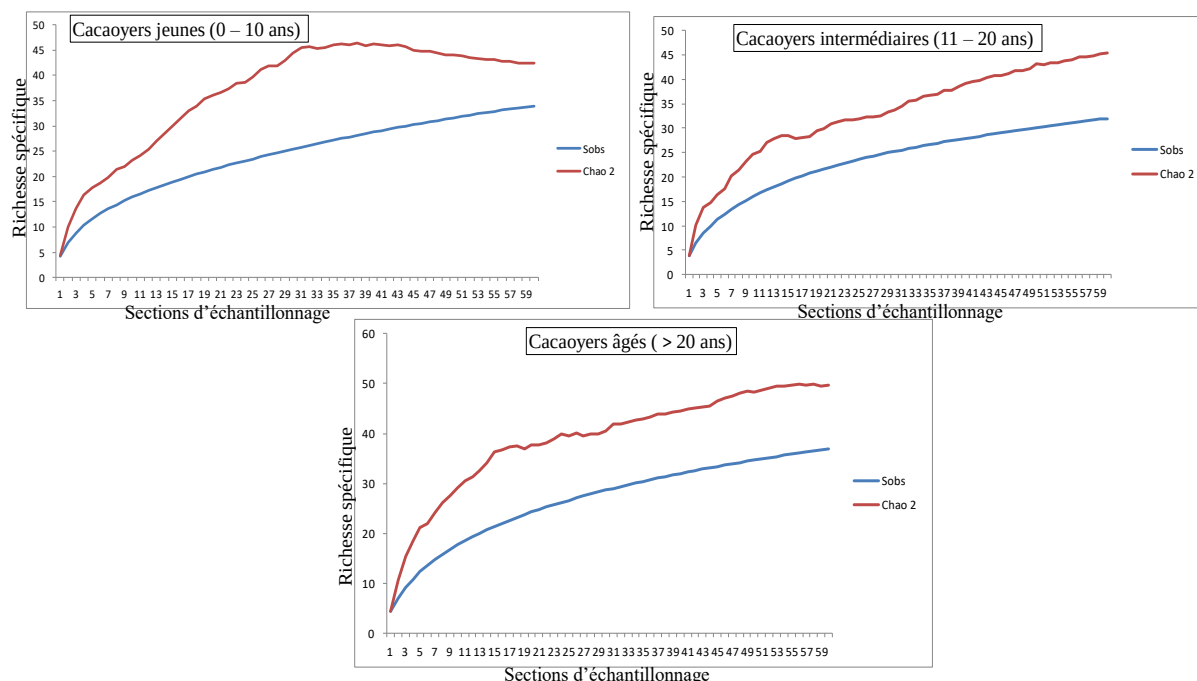


Figure 40: Courbes d'accumulation des espèces de fourmis observées et attendues en fonction de la surface échantillonnée dans le département de Zoukougbeu

III.1.2.2. Principales caractéristiques des peuplements de fourmis

III.1.2.2.1. Richesse spécifique

En prenant les catégories de vergers séparément, le nombre d'espèces de fourmis récoltées évolue différemment (Tableau VI). Pour les jeunes vergers (0-10 ans), la richesse spécifique varie du département de Daloa (35 espèces) à celui de Vavoua (19 espèces) en passant par Zoukougbeu (34 espèces) et Issia (32 espèces). Au niveau des vergers âgés de 11 à 20 ans, la richesse la plus élevée a été notée à Issia (36 espèces) et la plus faible à Vavoua (25 espèces) tandis que Zoukougbeu (32 espèces) et Daloa (30 espèces) ont des richesses intermédiaires. Quant aux vergers âgés de plus de 20 ans, Zoukougbeu (37 espèces), Vavoua (36 espèces) et Daloa (35 espèces) ont des richesses spécifiques quasi-similaires contrairement à Issia qui est moins riche (26 espèces).

En fusionnant les catégories de vergers par département, la richesse spécifique moyenne ne varie pas significativement entre les quatre départements (Figure 41). Toutefois, Vavoua présente une moyenne en deçà de celles des autres départements.

III.1.2.2.2. Diversité spécifique et équitabilité des peuplements

L'indice de diversité de Simpson est globalement élevé pour toutes les catégories de vergers (0,81 à 0,93) (Tableau VI).

Les départements de Daloa, Issia et Zoukougbeu présentent les indices les plus élevées (D moyen respectivement égal à 0,92 ; 0,90 et 0,91) et peu variables d'une catégorie de vergers à l'autre. L'indice moyen est élevé pour Issia (D moyen = 0,90) mais il varie de manière perceptible entre les catégories de vergers (D compris entre 0,81 et 0,90). En combinant les quatre départements, on note une égalité quasi-parfaite de l'indice de diversité des fourmis entre les catégories de vergers (D compris entre 0,89 et 0,91). Quant à l'équitabilité, elle indique une meilleure répartition des occurrences entre les espèces à Daloa (moyenne = 0,62) et Issia (moyenne = 0,54) contrairement à Zoukougbeu et Vavoua où ses valeurs sont moyennement élevées (0,49 et 0,48 respectivement). En prenant les catégories de vergers pour tous les départements, on note une amélioration de la répartition des occurrences d'espèces de fourmis avec l'âge des vergers (de 0,50 pour les vergers 0-10 ans à 0,54 pour les vergers > 20 ans).

III.1.2.2.3. Abondance des espèces

Daloa et Zoukougbeu ont les abondances les plus élevées dans toutes les classes d'âge, ce qui suggère des conditions favorables à la survie et à la reproduction des espèces. Issia a une abondance relativement stable, bien que légèrement plus faible que celles Daloa et Zoukougbeu. Vavoua a l'abondance la plus faible, ce qui est cohérent avec sa richesse spécifique et sa diversité plus basses (Tableau VI).

Tableau VI : Principales caractéristiques des peuplements de fourmis récoltées dans les catégories de vergers de cacaoyers par département visité

	DALOA			ISSIA			VAVOUA			ZOUKOUGBEU		
	0-10	11-20	> 20	0-10	11-20	> 20	0-10	11-20	> 20	0-10	11-20	> 20
RS	35	30	35	32	36	26	19	25	36	34	32	37
IS	0,93	0,92	0,93	0,91	0,91	0,89	0,81	0,88	0,90	0,91	0,91	0,92
E	0,61	0,73	0,53	0,51	0,48	0,62	0,42	0,49	0,52	0,46	0,52	0,49
A	265	113	321	259	206	151	156	183	172	256	231	259

RS : richesse spécifique ; IS : indice de Simpson ; E : équitabilité ; A : abondance

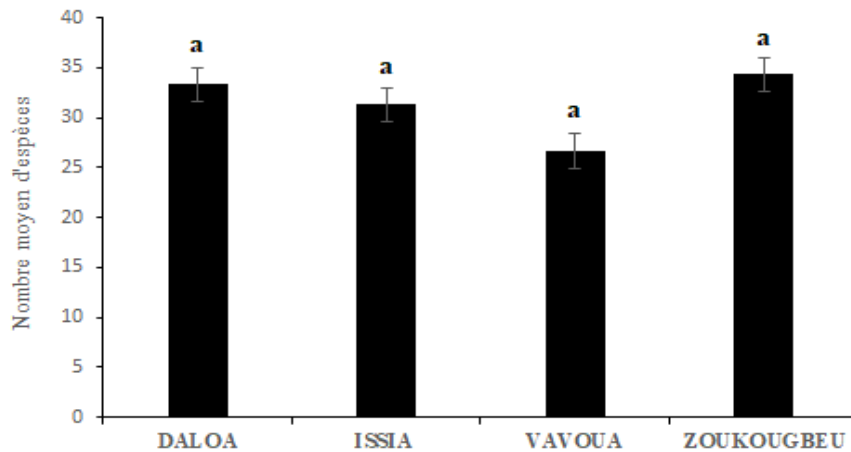


Figure 41 : Richesse spécifique moyenne des fourmis récoltées dans les départements

III.1.2.3. Composition spécifique des peuplements de fourmis dans les départements

Au total, 79 espèces de fourmis ont été récoltées. Elles sont réparties en 25 genres et 5 sous-familles (Dolichodorinae, Dorylinae, Formicinae, Myrmicinae et Ponerinae) (Annexe 2). La distribution des espèces révèle que 29 espèces sont communes à l'ensemble des départements. Elles sont issues de 13 genres (*Camponotus*, *Crematogaster*, *Dorylus*, *Lepisiota*, *Mesoponera*, *Monomorium*, *Nylanderia*, *Odontomachus*, *Oecophylla*, *Palthotyreus*, *Pheidole*, *Tapinoma* et *Tetramorium*) (Tableau VII). La classification hiérarchique des départements (Figure 42) basée sur la composition spécifique des fourmis récoltées montre deux groupes. Un premier groupe est constitué par les départements de Daloa, Issia et Zoukougbeu et un deuxième par le département de Vavoua. Le premier groupe comprend deux sous-groupes. Le département de Daloa représente un sous-groupe tandis qu'Issia et Zoukougbeu forment l'autre sous-groupe.

Tableau VII : Liste des espèces communes aux quatre départements explorés

	Daloa	Issia	Zoukougbeu	Vavoua
DOLICHODERINAE				
<i>Tapinoma lugubre</i>	180	68	159	59
<i>Tapinoma melanocephalum</i>	11	13	6	1
DORYLINAE				
<i>Dorylus nigricans</i>	44	63	43	85
<i>Dorylus</i> sp.2	271	120	65	39
FORMICINAE				
<i>Camponotus acvapimensis</i>	36	26	6	11
<i>Camponotus cinctellus</i>	29	69	19	5
<i>Camponotus maculatus</i>	15	7	23	3
<i>Camponotus vividus</i>	4	2	3	11
<i>Lepisiota egregia</i>	41	6	183	91
<i>Lepisiota</i> sp.1	2	12	10	2
<i>Nylanderia boltoni</i>	8	16	3	5
<i>Oecophylla longinoda</i>	1222	865	757	736
MYRMICINAE				
<i>Crematogaster</i> sp.1	76	86	23	1
<i>Crematogaster</i> sp.2	68	35	38	23
<i>Crematogaster</i> sp.5	15	1	1	2
<i>Monomorium afrum</i>	39	34	9	6
<i>Monomorium bicolor</i>	65	3	134	34
<i>Monomorium floricola</i>	76	1	59	120
<i>Monomorium pharaonis</i>	13	4	1	4
<i>Pheidole</i> sp.10	21	37	8	44
<i>Pheidole</i> sp.3	70	153	294	496
<i>Pheidole</i> sp.6	73	42	41	5
<i>Pheidole</i> sp.7	662	238	382	225
<i>Pheidole</i> sp.8	948	238	652	553
<i>Tetramorium sericeiveintre</i>	1	2	1	1
<i>Tetramorium versiculum</i>	27	2	6	7
PONERINAE				
<i>Mesoponera cafferaria</i>	16	51	17	10
<i>Odonctomachus troglodytes</i>	111	161	129	150
<i>Paltothyreus tarsatus</i>	65	151	111	55

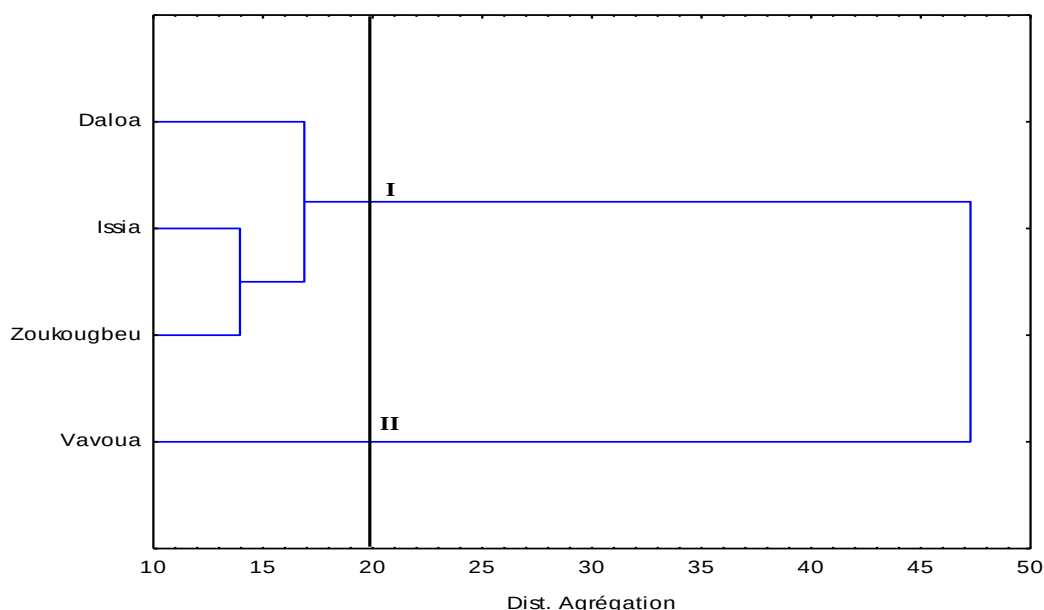


Figure 42: Classification ascendante hiérarchique des départements explorés basée sur leur composition spécifique de fourmis

III.1.2.4. Complémentarité entre les peuplements de fourmis par catégorie de vergers

❖ Vergers âgés de 0 à 10 ans

Les valeurs de complémentarité varient entre 47 et 60 % (Tableau VIII). La paire d'habitats ayant la complémentarité la plus forte (60 %) se compose des départements d'Issia et de Zoukougbeu ; ce qui indique une dissimilarité de leurs compositions spécifiques de fourmis. Une complémentarité faible (47%) est notée entre les départements de Daloa et Zoukougbeu et cela montre un rapprochement entre leurs compositions spécifiques. La complémentarité moyenne est de 56 %, suggérant une variation importante de la composition spécifique des peuplements de fourmis au sein des vergers de cacaoyers âgés de 0 à 10 ans.

❖ Vergers âgés de 11 à 20 ans

Les valeurs de complémentarité varient entre 46 et 67 % (Tableau IX). La valeur la plus importante (67%) est pour la paire Issia-Vavoua, montrant deux compositions spécifiques assez dissimilaires (67 %). La complémentarité la plus faible (46 %) est observée entre les départements de Vavoua et Zoukougbeu dont les compositions spécifiques de fourmis sont plus proches. De manière générale, les vergers de cacaoyers âgés de 11 à 20 ans présentent des compositions spécifiques très variables entre les départements (complémentarité moyenne égale à 58 %).

Tableau VIII : Complémentarité entre les peuplements de fourmis récoltées dans les vergers âgés de 0 à 10 ans

Habitat 1	Habitat 2	Espèces des deux habitats	Espèces communes	Complémentarité (%)
Daloa	Issia	47	20	57
Daloa	Vavoua	38	16	58
Daloa	Zoukougbeu	45	24	47
Issia	Vavoua	36	15	58
Issia	Zoukougbeu	47	19	60
Vavoua	Zoukougbeu	37	16	57

❖ **Vergers âgés de plus de 20 ans**

Les valeurs de complémentarité sont globalement plus faibles, oscillant entre 40 et 56 % (Tableau X). On note un rapprochement global entre les compositions spécifiques de fourmis des vergers âgés de plus de 20 ans. Seules les paires « Daloa – Zoukougbeu » (52 %) et « Issia – Vavoua » (56 %) présentent encore des dissimilarités. Cette tendance laisse supposer que les peuplements de fourmis tendent vers une homogénéité avec le vieillissement des vergers. La complémentarité moyenne est de 46 % ; ce qui montre que le peuplement de fourmis de cette catégorie de vergers ne varie pas considérablement quel que soit le département visité.

Tableau IX : Complémentarité entre les peuplements de fourmis récoltées dans les vergers âgés de 11-20 ans

Habitat 1	Habitat 2	Espèces des deux habitats	Espèces communes	Complémentarité (%)
Daloa	Issia	48	18	62
Daloa	Vavoua	38	17	55
Daloa	Zoukougbeu	44	18	59
Issia	Vavoua	46	15	67
Issia	Zoukougbeu	48	20	58
Vavoua	Zoukougbeu	37	20	46

Tableau X : Complémentarité entre les peuplements de fourmis récoltées dans les vergers âgés de plus de 20 ans

Habitat 1	Habitat 2	Espèces des deux habitats	Espèces communes	Complémentarité (%)
Daloa	Issia	39	22	44
Daloa	Vavoua	48	23	52
Daloa	Zoukougbeu	45	27	40
Issia	Vavoua	43	19	56
Issia	Zoukougbeu	41	22	44
Vavoua	Zoukougbeu	46	27	41

III.1.2.5. Proportions totales des sous-familles de fourmis

L'analyse des proportions des sous-familles (Figure 43) montre que les Myrmicinae (50 % des occurrences d'espèces) dominent largement le peuplement de fourmis récoltées suivies, dans l'ordre décroissant, par les Formicinae (31 % des occurrences d'espèces), les Ponerinae (7 % des occurrences d'espèces), les Dolichoderinae et les Dorylinae (6 % des occurrences d'espèces chacun). En suivant l'évolution des abondances (nombres d'occurrences) des sous-familles dans les départements, aucune variation significative n'a été observée (Tableau XI).

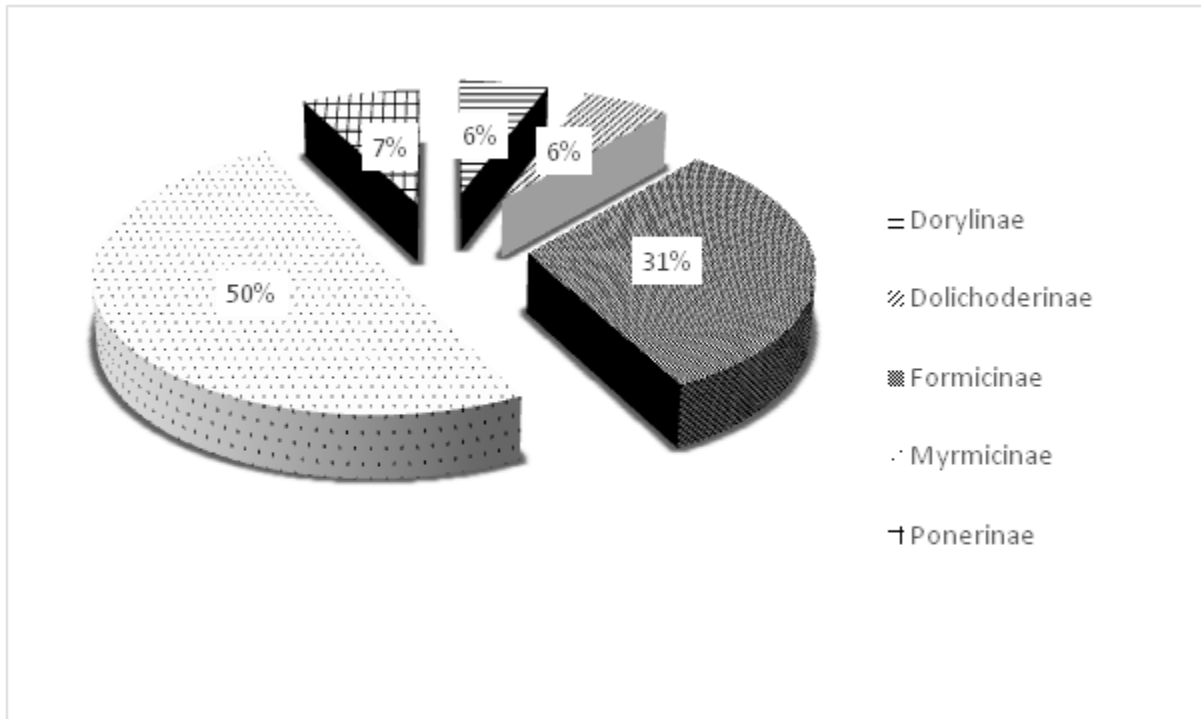


Figure 43 : Proportions des sous-familles de fourmis dans l'ensemble des départements explorés

Tableau XI : Variation de l'abondance des sous-familles entre les départements

Sous-familles	Daloa	Issia	Zoukougbeu	Vavoua	F	p
Myrmicinae	363	222	200	343	0,69	0,57 NS
Formicinae	178	200	170	209	0,02	0,99 NS
Ponerinae	72	162	106	128	0,26	0,85 NS
Dolichoderinae	60	27	16	53	0,34	0,79 NS
Dorylinae	26	6	19	13	0,87	0,49 NS

III.1.2.6. Evolution des abondances de sous-familles en fonction de l'âge des vergers

Seule l'abondance des Myrmicinae montre une variation significative entre les catégories de vergers. Cette sous-famille est très représentée dans les vergers âgés de 11 à 20 ans par rapport aux deux autres catégories (11-20 ans et > 20 ans) où ses abondances sont similaires. Les abondances de Formicinae et Dolichoderinae ne varient presque pas entre les catégories de vergers ; ce n'est pas le cas des Dorylinae et des Ponerinae qui sont plus présentes dans les vergers de 0-10 ans et > 20 ans par rapport aux vergers de 11-20 ans.

Tableau XII : Variation des abondances de sous-familles de fourmis en fonction de l'âge des vergers

Sous-familles	0 - 10 ans	11 - 20 ans	> 20 ans	F	p
Myrmicinae	374	343	677	0,07	0,93 NS
Formicinae	297	193	267	0,11	0,90 NS
Ponerinae	184	137	149	0,06	0,94 NS
Dolichoderinae	54	42	60	0,04	0,96 NS
Dorylinae	29	18	17	0,36	0,71 NS

La valeur de p en gras indique une variation significative tandis que la mention NS signifie Non significatif.

III.1.2.7. Abondances de fourmis selon la méthode d'échantillonnage et l'âge des vergers

De manière générale, beaucoup plus de fourmis ont été récoltées avec les pièges fosses, suivis des appâts alimentaires et enfin du battage (Figure 44). Avec les pièges fosses, le département de Daloa présente l'abondance la plus élevée, suivent ensuite dans l'ordre les départements de Zoukougbeu, Issia et Vavoua. En considérant la méthode de battage, les abondances obtenues sont quasi-similaires pour les départements de Daloa, Issia et Zoukougbeu contrairement à Vavoua dont l'abondance est plus faible. Avec des niveaux certes plus élevés, les abondances obtenues avec les appâts alimentaires se présentent exactement comme celles constatés pour le battage.

En observant les vergers 0-10 ans, les abondances de fourmis sont plus élevées et similaires pour les départements de Daloa, Issia et Zoukougbeu contrairement à celle de Vavoua qui est plus faible. Au niveau des vergers 11-20 ans, c'est plutôt Daloa qui présente la plus faible abondance contre les trois départements dont les abondances affichent des niveaux assez proches. Quant aux vergers âgés de plus de 20 ans, Daloa et Zoukougbeu dominent nettement Issia et Vavoua qui ont des abondances inférieures et proches (Figure 45).

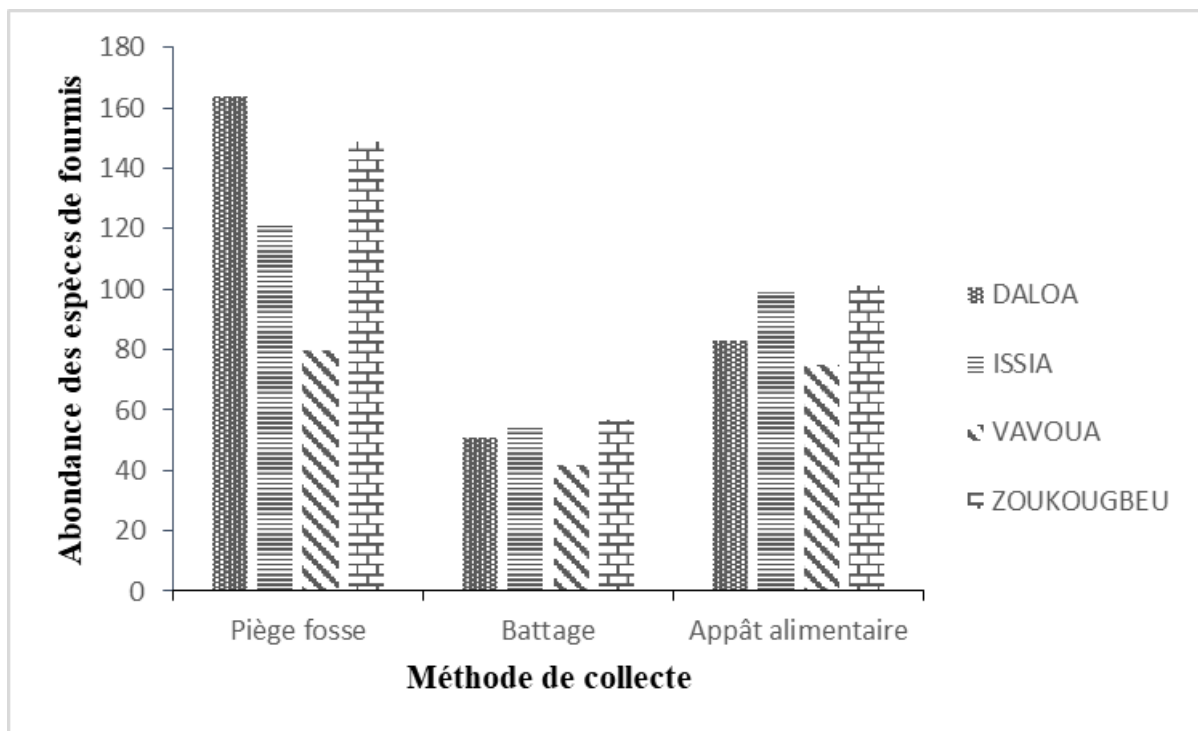


Figure 44 : Abondances de fourmis obtenues avec les méthodes d'échantillonnage dans les différents départements visités

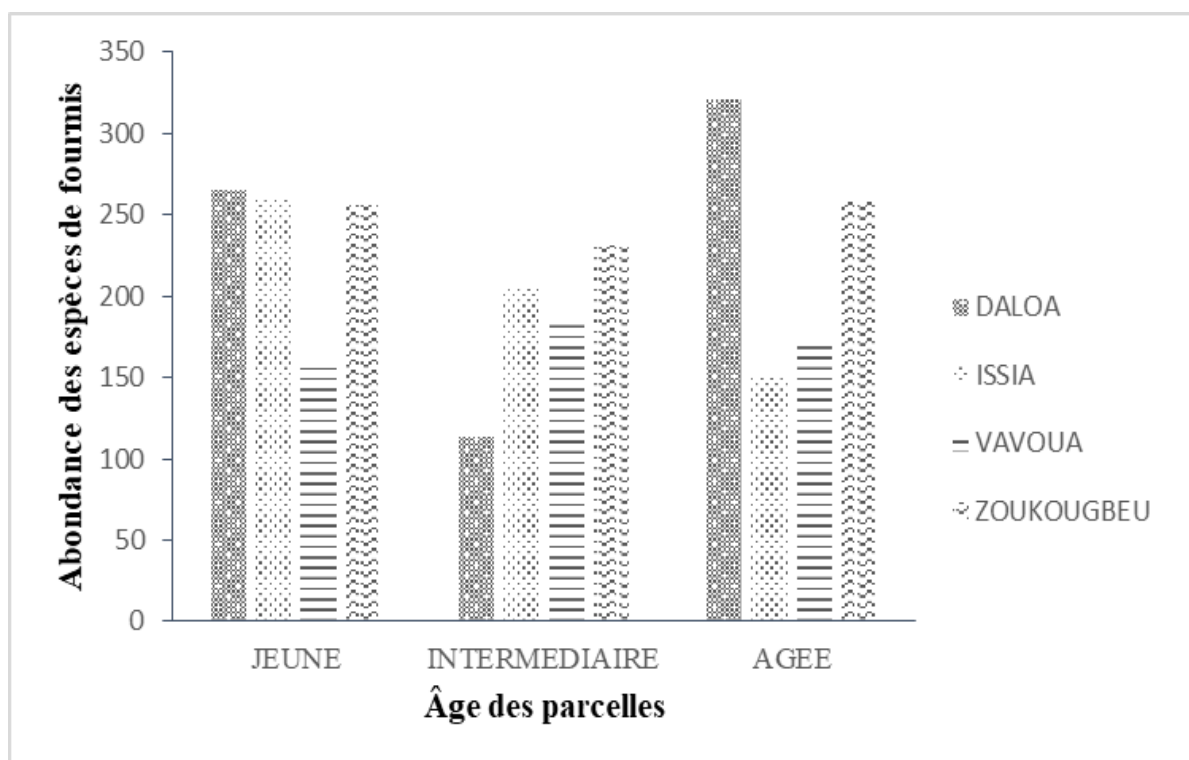


Figure 45 : Abondances de fourmis obtenues selon l'âge des vergers dans les différents départements visités

III.1.2.8. Abondance des guildes fonctionnelles de fourmis

Les fourmis récoltées appartiennent à six guildes fonctionnelles, à savoir les Omnivores, les Dominants arboricoles, les Nomades, les Opportunistes, les Parasites et les Prédateurs (Figure 46). Les guildes majoritaires sont les Omnivores (53 %), les Dominants Arboricoles (25 %) et les Prédateurs (19 %). Les Omnivores sont dominées par quatre espèces : *Tapinoma lugubre* (133 occurrences), *Pheidole* sp.3 (149 occurrences), *Pheidole* sp.7 (201 occurrences) et *Pheidole* sp.8 (280 occurrences). Quant à la guildes des Dominants Arboricoles, elle est majoritairement représentée par la fourmi rouge *Oecophylla longinoda* (500 occurrences sur 644). Les fourmis prédatrices ont été fortement récoltées, à savoir *Odontomachus troglodytes* (244 occurrences) et *Paltothyreus tarsatus* (179 occurrences). Les Nomades (2 %), les Opportunistes et les Parasites ont été récoltés dans des proportions mineures.

L'abondance totale des omnivores ne varie pas significativement (Tableau XIII). Ces espèces se rencontrent de façon similaire dans les départements de Zoukougbeu (415 occurrences), Daloa (389 occurrences) et Issia (343 occurrences) qui diffèrent de Vavoua (284 occurrences). Les Dominants arboricoles ont une répartition très peu variable entre les quatre départements. Les prédateurs sont moins présents dans le département de Daloa contrairement aux autres sites où ils ont des abondances très proches.

Les abondances des trois principales guildes (Omnivores, Dominant arboricoles et Prédateurs) ne varient pas significativement d'une catégorie de vergers à l'autre (Tableau XIV). Toutefois, il y a une baisse de l'abondance de toutes ces guildes dans les vergers âgés de 11 à 20 ans.

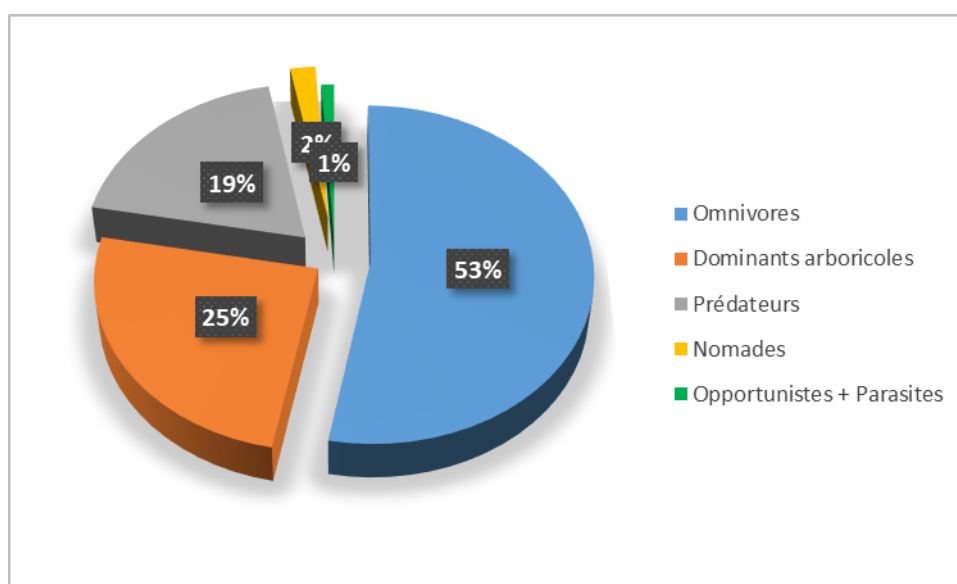


Figure 46 : Proportions des guildes fonctionnelles de fourmis dans l'ensemble des départements explorés

Tableau XIII: Variation de l'abondance (occurrences) de guildes fonctionnelles entre les départements

Guildes fonctionnelles	Daloa	Issia	Zoukougbeu	Vavoua	F	p
Omnivores	407	306	233	437	0,78	0,51 NS
Dominants arboricoles	190	144	145	166	0,03	0,99 NS
Prédateurs	76	161	114	130	0,22	0,88 NS
Nomades	26	5	19	13	1,15	0,37 NS
Opportunistes	0	2	4	1	-	-
Parasites	0	1	0	0	-	-

NS: Non significatif

Tableau XIV: Variation de l'abondance (occurrences) des guildes fonctionnelles entre les catégories de vergers

Guildes fonctionnelles	0 - 10 ans	11 - 20 ans	> 20 ans	F	P
Omnivores	485	392	499	0,19	0,82 NS
Dominants arboricoles	235	181	228	0,03	0,97 NS
Prédateurs	186	142	153	0,06	0,94 NS
Nomades	28	18	17	0,35	0,72 NS
Opportunistes	1	0	6	-	-
Parasites	1	0	0	-	-

III.1.2.9. Profil de distribution des fourmis

En tenant compte des erreurs de quantification et de topographie (Tableau XV), une carte de Kohonen composée de 48 cellules (8 lignes x 6 colonnes) a été retenue (Figure 47A). La classification hiérarchique (Figure 47B) a permis de regrouper les 48 cellules de la carte de Kohonen en quatre groupes distincts (I, II, III et IV).

L'analyse de classification hiérarchique définit les différents groupements de chaque unité à partir des abondances relatives des fourmis. Les échantillons du groupe I sont issus en majorité des méthodes de battage et d'appât alimentaire (Figure 48). Le groupe II renferme les échantillons issus de la méthode de pitfall avec une dominance des transects du département d'Issia et de Daloa. Le groupe III rassemble également les échantillons majoritairement issus des méthodes de battage et d'appât alimentaire. Quant au groupe IV, il renferme des échantillons majoritairement issus de la méthode de battage.

Le profil de distribution des espèces de fourmis réalisé par la SOM, présente la contribution de chaque taxon dans les différents groupes (Figure 49). La distribution des espèces de fourmis dans les cellules de la SOM montre les variations de la richesse spécifique dans les groupes formés (Figure 50). Le groupe II avec 55 espèces est relativement le plus riche. Il est suivi par le groupe III (20 espèces) et le groupe I (16 espèces). Le groupe IV est le moins riche avec 14 espèces.

Tableau XIV : Erreurs de quantification et de topographie

Matrice possible	Erreur de quantification	Erreur topographique
7 x 7	1,852	0,000
8 x 6	1,46	0,000
9 x 6	1,804	0,009

1

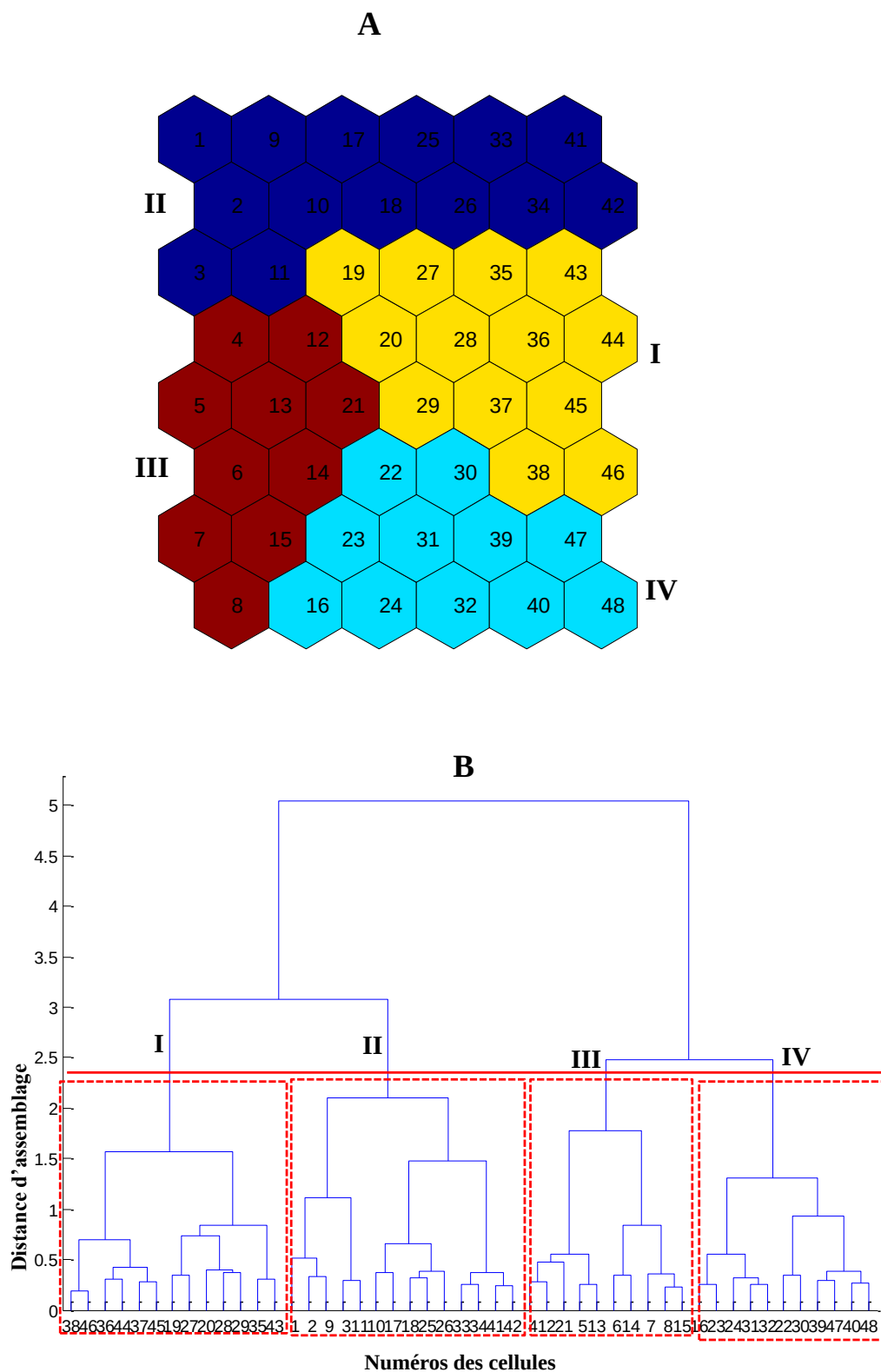
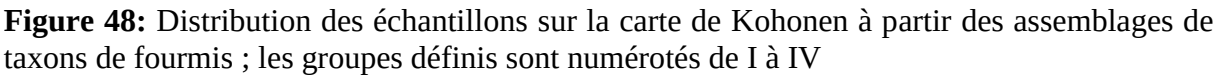


Figure 47 : Carte SOM de Kohonen (A) montrant la répartition des 48 cellules et dendrogramme (B) présentant la classification hiérarchique des cellules sur la base des abondances par espèce de fourmis



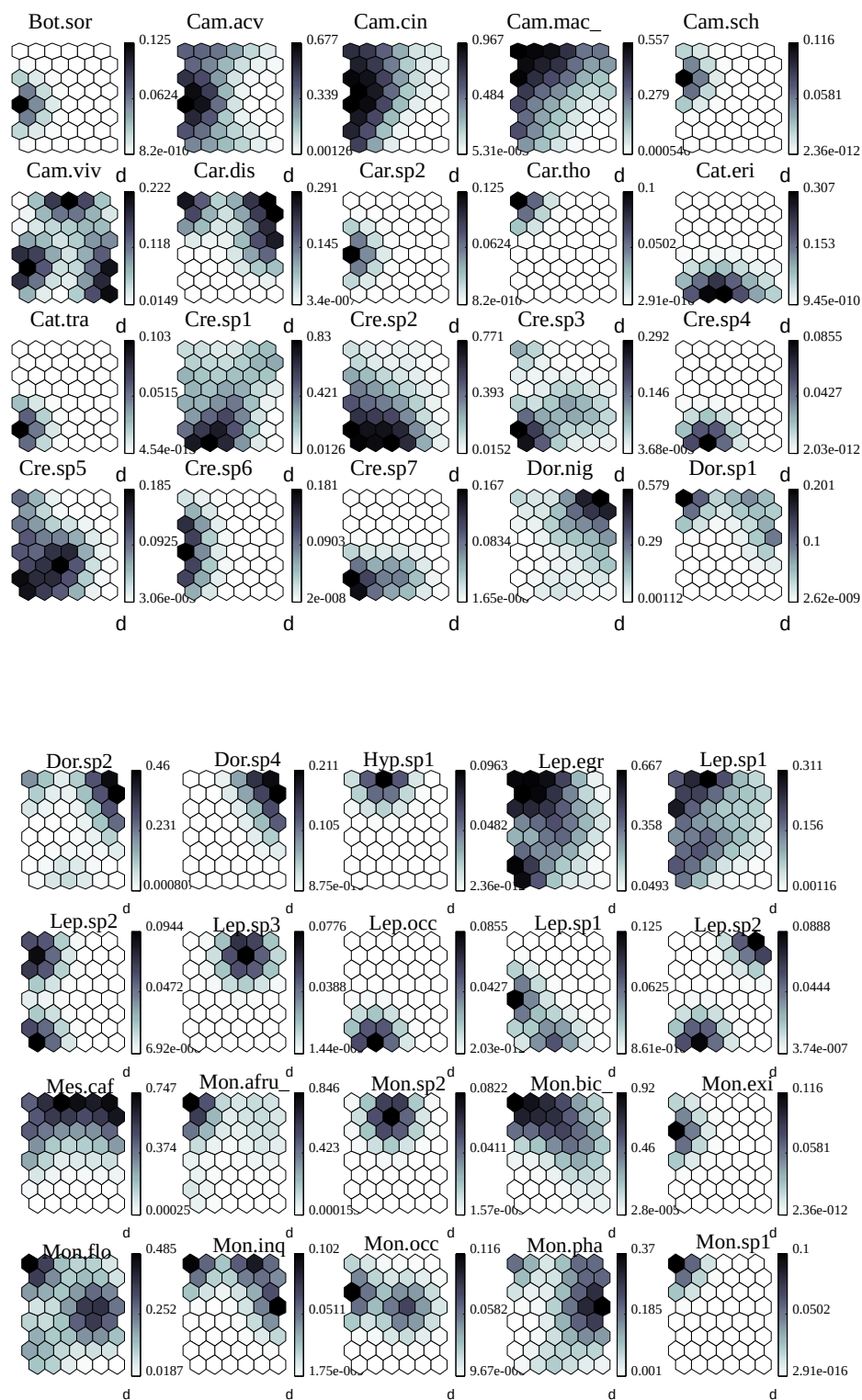
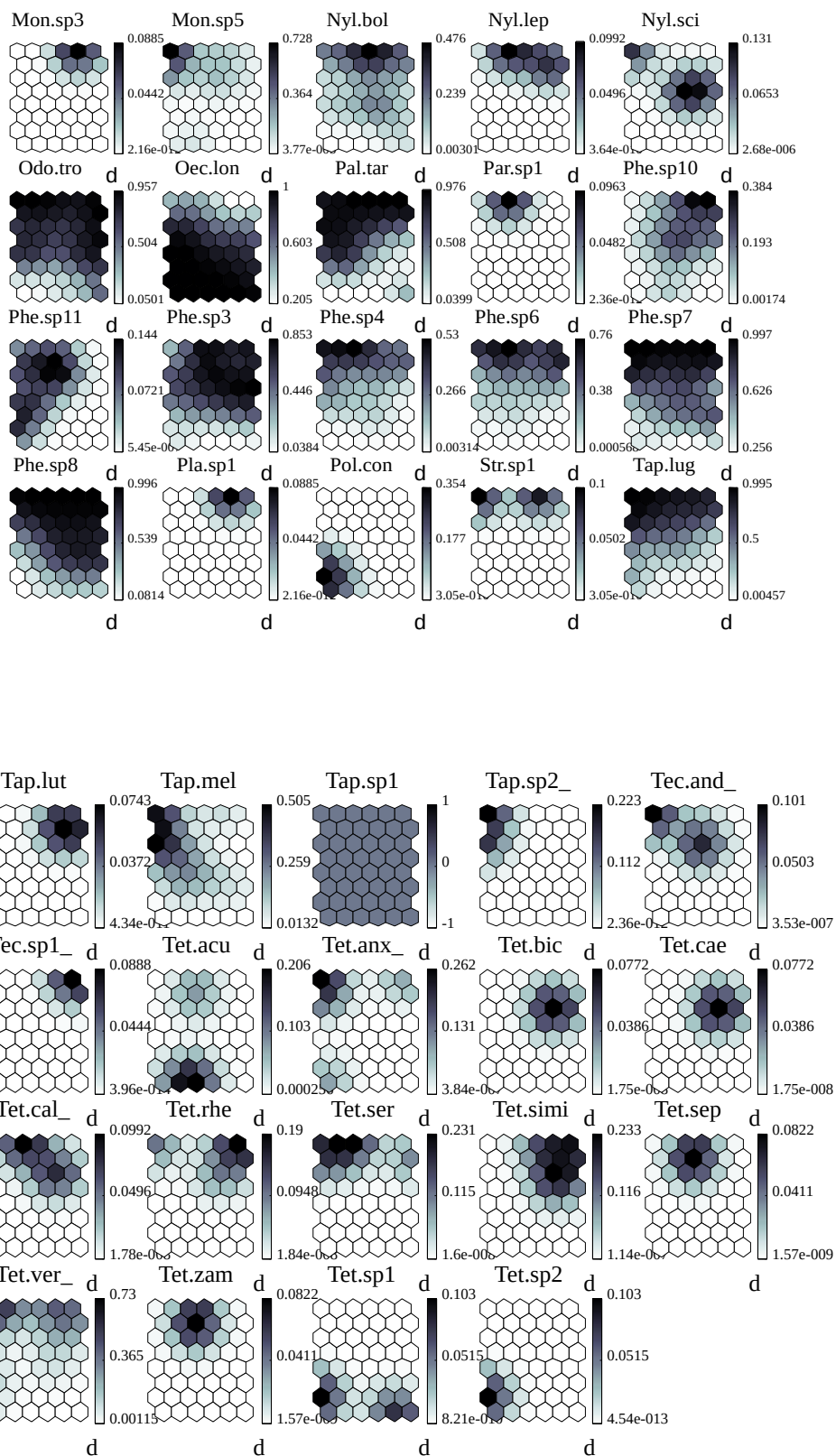


Figure 49: Profil de distribution des espèces de fourmis sur la carte de Kohonen à partir des données d'abondances relatives et d'occurrences.

Couleurs foncées = abondance élevée ; couleurs claires = faible abondance ou absence ; l'échelle à droite des cellules indique la probabilité de présence de l'espèce.



Suite de la figure 49

Bot.sor : *Bothroponera sorore* ; **Cam.acv** : *Camponotus acvapimensis* ; **Cam.cin** : *Camponotus cinctellus* ; **Cam.mac** : *Camponotus maculatus* ; **Cam.sch** : *Camponotus schoutedeni* ; **Cam.viv** : *Camponotus vividus* ; **Car.dis** : *Carebara distincta* ; **Car.sp1** : *Carebara* sp.1; **Car.tho** : *Carebara thoraxica* ; **Cateri** : *Cataulacus erinaceus* ; **Cat.tra** : *Cataulacus traegaordhi* ; **Cre.sp.1** : *Crematogaster* sp.1; **Cre.sp.2** : *Crematogaster* sp.2; **Cre.sp.3** : *Crematogaster* sp.3; **Cre.sp.4** : *Crematogaster* sp.4; **Cre.sp.5** : *Crematogaster* sp.5; **Cre.sp.6** : *Crematogaster* sp.6; **Cre.sp.7** : *Crematogaster* sp.7; **Dor.nig** : *Dorylus nigricans* ; **Dor.sp.1** : *Dorylus* sp.1; **Dor.sp.2** : *Dorylus* sp.2; **Dor.sp.4** : *Dorylus* sp.4; **Hyp.sp.1** : *Hypoponera* sp.1; **Lep.egr** : *Lepisiota egregia* ; **Lep.sp.1** : *Lepisiota* sp.1; **Lep.sp.2** : *Lepisiota* sp.2 ; **Lep.sp.3** : *Lepisiota* sp.3; **Lep.occ** : *Leptogenys occidentalis* ; **Lep.sp.1** : *Leptogenys* sp.1; **Lep.sp.1** : *Leptothorax* sp.1; **Mes.caf** : *Mesoponera caffraria* ; **Mon.afro** : *Monomorium afro* ; **Mon.sp2** : *Monomorium* sp.2; **Mon.bic** : *Monomorium bicolor* ; **Mon.exi** : *Monomorium exigum* ; **Mon.flo** : *Monomorium floricola* ; **Mon.inq** : *Monomorium inquietum* ; **Mon.occ** : *Monomorium occidentale* ; **Mon.pha** : *Monomorium pharaonis* ; **Mon.sp.1** : *Monomorium* sp.1; **Mon.sp.3** : *Monomorium* sp.3; **Mon.sp.5** : *Monomorium* sp.5; **Nyl.bol** : *Nylanderia boltoni* ; **Nyl.lep** : *Nylanderia lepida* ; **Nyl.sci** : *Nylanderia scintilla* ; **Odo.tro** : *Odonctomachus troglodytes* ; **Oec.lon** : *Oecophylla longinoda* ; **Pal.tar** : *Paltothyreus tarsatus* ; **Par.sp.1** : *Parasyscia* sp.1; **Phe.sp.10** : *Pheidole* sp.10; **Phe.sp.12** : *Pheidole* sp.12; **Phe.sp.3** : *Pheidole* sp.3; **Phe.sp.4** : *Pheidole* sp.4; **Phe.sp.6** : *Pheidole* sp.6; **Phe.sp.7** : *Pheidole* sp.7; **Phe.sp.8** : *Pheidole* sp.8; **Pla.sp.1** : *Plagiolepis* sp.1; **Pol.con** : *Polyrhachis concava* ; **Str.sp.1** : *Strumigenys* sp.1; **Tap.lug** : *Tapinoma lugubre* ; **Tap.lut** : *Tapinoma luteum* ; **Tap.mel** : *Tapinoma melanocephalum* ; **Tap.sp.1** : *Tapinoma* sp.1; **Tap.sp.2** : *Tapinoma* sp.2; **Tec.and** : *Technomyrmex andrei* ; **Tec.sp.1** : *Technomyrmex* sp.1; **Tet.acu** : *Tetramorium aculeatum* ; **Tet.anx** : *Tetramorium anxium* ; **Tet.bic** : *Tetramorium bicarinatum* ; **Tet.cae** : *Tetramorium caespitum* ; **Tet.cal** : *Tetramorium caldarium* ; **Tet.rhe** : *Tetramorium rhetidum* ; **Tet.ser** : *Tetramorium sericeiventris* ; **Tet.sim** : *Tetramorium simillimum* ; **Tet.sep** : *Tetramorium sepositum* ; **Tet.ver** : *Tetramorium versiculum* ; **Tet.zam** : *Tetramorium zambesium* ; **Tet.sp.1** : *Tetraoponera* sp.1; **Tet.sp.2** : *Tetraoponera* sp.2.



Figure 50: Distribution des espèces de fourmis des différents départements dans chaque groupe défini par la SOM

III.1.2.10. Diversité des fourmis des entrepôts de stockage de cacao

L'inventaire de la faune myrmécologique des différents entrepôts de stockage a permis de recenser 13 espèces réparties entre 5 genres (*Monomorium*, *Pheidole*, *Solenopsis*, *Tapinoma* et *Tetramorium*) et deux (02) sous-familles (Dolichoderinae et Myrmicinae) (Tableau XVI). Toutes les espèces ont été collectées dans les entrepôts brousses. Aucune espèce de fourmis n'a été retrouvée dans les entrepôts cales. Une seule espèce est commune aux entrepôts brousses, à savoir *Pheidole* sp.3. Cinq espèces de fourmis sont spécifiques à l'entrepôt 6, ce sont *Pheidole* sp.4, *Pheidole* sp.7, *Solenopsis globularia*, *Tetramorium rheidum* et *Tapinoma lugubre*.

Les espèces récoltées dans les différents entrepôts appartiennent à trois guildes fonctionnelles (Figure 51). Il s'agit des omnivores, des opportunistes et des prédatrices. Les omnivores sont les plus diversifiés avec 11 espèces soit 84 % des espèces collectées. Les opportunistes et les prédatrices sont représentées chacune par une seule espèce, soit respectivement 8 % des espèces.

Tableau XV : Répartition des espèces de fourmis dans les entrepôts de stockages

Sous-familles	Espèces	Entrepôts cales			Entrepôts brousses		
		E1	E2	E3	E4	E5	E6
Myrmicinae	<i>Monomorium pharaonis</i>	-	-	-	*	-	*
	<i>Monomorium rosae</i>	-	-	-	*	-	*
	<i>Pheidole</i> sp.3	-	-	-	*	*	*
	<i>Pheidole</i> sp.4	-	-	-	-	-	*
	<i>Pheidole</i> sp.7	-	-	-	-	-	*
	<i>Pheidole</i> sp.8	-	-	-	*	-	*
	<i>Solenopsis globularia</i>	-	-	-	-	-	*
	<i>Tetramorium rheidum</i>	-	-	-	-	-	*
	<i>Tetramorium simillimum</i>	-	-	-	-	*	*
Dolichoderinae	<i>Tapinoma lugubre</i>	-	-	-	-	-	*
	<i>Tapinoma melanocephalum</i>	-	-	-	*	-	*
	<i>Tapinoma</i> sp.2	-	-	-	-	*	*
	<i>Tapinoma</i> sp.3	-	-	-	*	-	*
2	13	-	-	-	6	3	13

E1.....E6 : Entrepôt 1 Entrepôt 6 ; (-) Absence de l'espèce ; (*) Présence de l'espèce

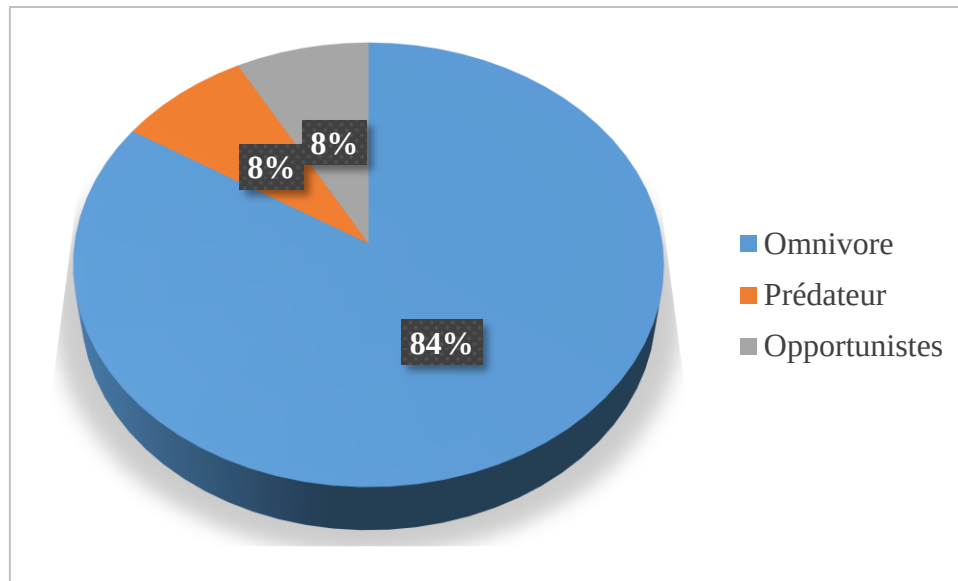


Figure 51 : Proportions des guildes fonctionnelles de fourmis dans l'ensemble des entrepôts de stockage des fèves de cacao

III.1.2.10.1. Abondance des fourmis dans les entrepôts brousses

L'abondance des fourmis est le nombre moyen d'occurrences d'une espèce récoltée dans un entrepôt (Figure 52). Les abondances de fourmis varient significativement entre les entrepôts (Anova, $F = 3,36$; $p = 0,04$). L'abondance la plus élevée est observée dans l'entrepôt 6 avec 112 occurrences, suivie par l'entrepôt 4 (60 occurrences) et l'entrepôt 5 (24 occurrences).

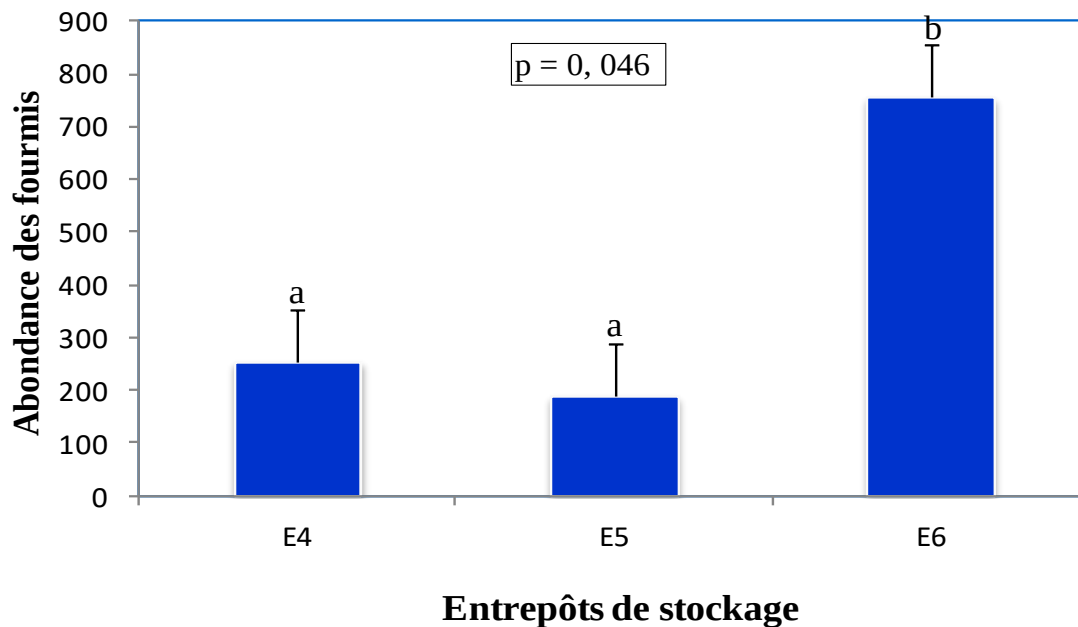


Figure 52 : Abondance des fourmis récoltées dans les entrepôts de stockages

E4 : entrepôt brousse 1, E5 : entrepôt brousse 2, E6 : entrepôt brousse 3

III.1.2.10.2. Abondance des fourmis en fonction des méthodes d'échantillonnage

L'utilisation des appâts alimentaires et la fouille manuelle permettent de récolter plusieurs espèces de fourmis (Figure 53). Les abondances des espèces récoltées ne varient pas proportionnellement en fonction de la durée d'exposition des appâts. Les espèces *Tapinoma melanocephalum*, *Solenopsis globularia*, *Tapinoma* sp.2 et *Tapinoma* sp.3 sont de plus en plus attirées par les appâts au cours du temps contrairement à *Tetramorium simillimum* dont la présence baisse. *Pheidole* sp.3 garde la même importance numérique quelle que soit la durée d'exposition des appâts. Des espèces n'ont pas été récoltées constamment sur les appâts ; C'est le cas, par exemple, de *Solenopsis globularia*, récoltée à la fois après 15 minutes et 1 heure d'exposition, ainsi que de *Tetramorium rethidum*, observée uniquement après 15 minutes de collecte.

La collecte manuelle a permis de mieux inventorier certaines espèces dans des proportions supérieures à celles obtenues avec les appâts ; c'est le cas de *Tapinoma melanocephalum*, *Tapinoma lugubre*, *Tapinoma* sp.2, *Tapinoma* sp.3 et *Tetramorium simillidum*. *Solenopsis globularia* a été faiblement récoltée de façon manuelle.

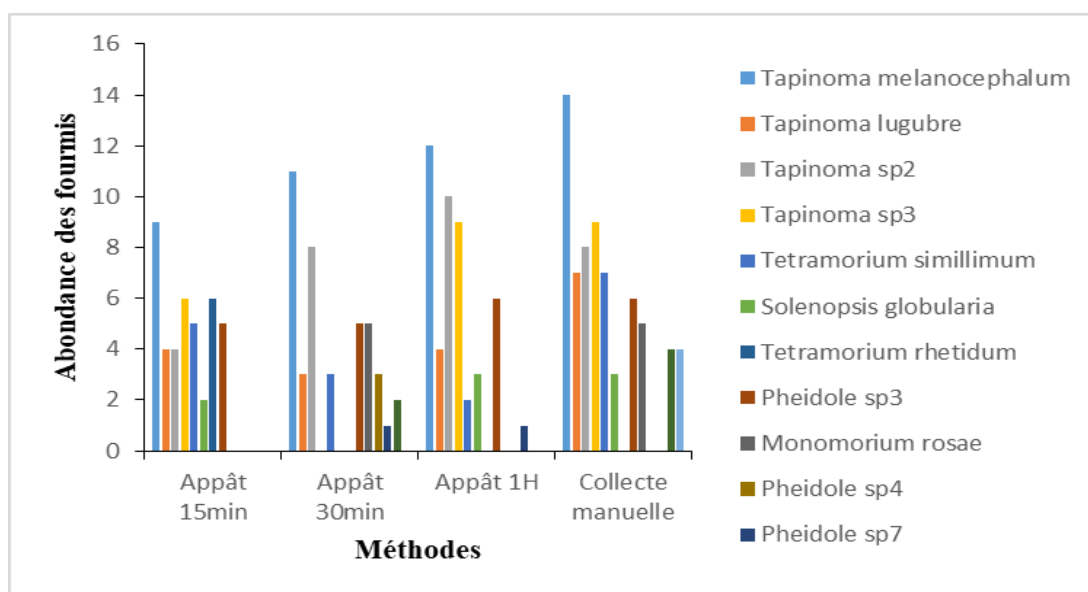


Figure 53: Abondance des espèces de fourmis récoltées dans les zones de stockages en fonction des méthodes d'échantillonnage utilisées

III.1.2.10.3. Variation de l'abondance en fonction de la méthode d'échantillonnage

Les fourmis (Figure 54) sont présentes avec 13 espèces. Ce groupe est dominé par *Tapinoma melanocephalum*, *Tapinoma* sp.3, *Tetramorium simillimum*, et *Pheidole* sp.3.

Ces espèces sont présentes dans tous les habitats prospectés, avec plus de 1 individu/m² en moyenne. *T. melanocephalum* atteint la valeur la plus élevée (1,5 individu/m²) dans les 3 méthodes. *Monomorium pharaonis* (1 individu/m² dans la méthode de collecte manuelle) et *Pheidole* sp.7 (0,5 individu/m² dans les appâts de 30 min et 1H) sont peu abondantes dans l'ensemble des milieux.

III.1.2.10.4. Abondance des sous-familles de fourmis dans des entrepôts de stockages

Les espèces de fourmis récoltées dans les zones de stockage appartiennent aux sous-familles de Myrmicinae et de Dolichoderinae respectivement (Figure 55). Les Myrmicinae sont représentées par 9 espèces (69 %) tandis que les Dolichoderinae en possèdent 4 (31 %).

Au niveau des Myrmicinae, les espèces *Pheidole* sp.3 et *Tetramorium simillimum* possèdent les abondances les plus élevées (22 et 17 occurrences respectivement). *Monomorium rosae* et *Pheidole* sp.7 ont les occurrences les plus faibles (3 et 2 occurrences) (Tableau XVII). Parmi les Dolichoderinae, *Tapinoma melanocephalum* (46 occurrences) et *Tapinoma* sp.2 (30 occurrences) dominent *Tapinoma lugubre* (18 occurrences).

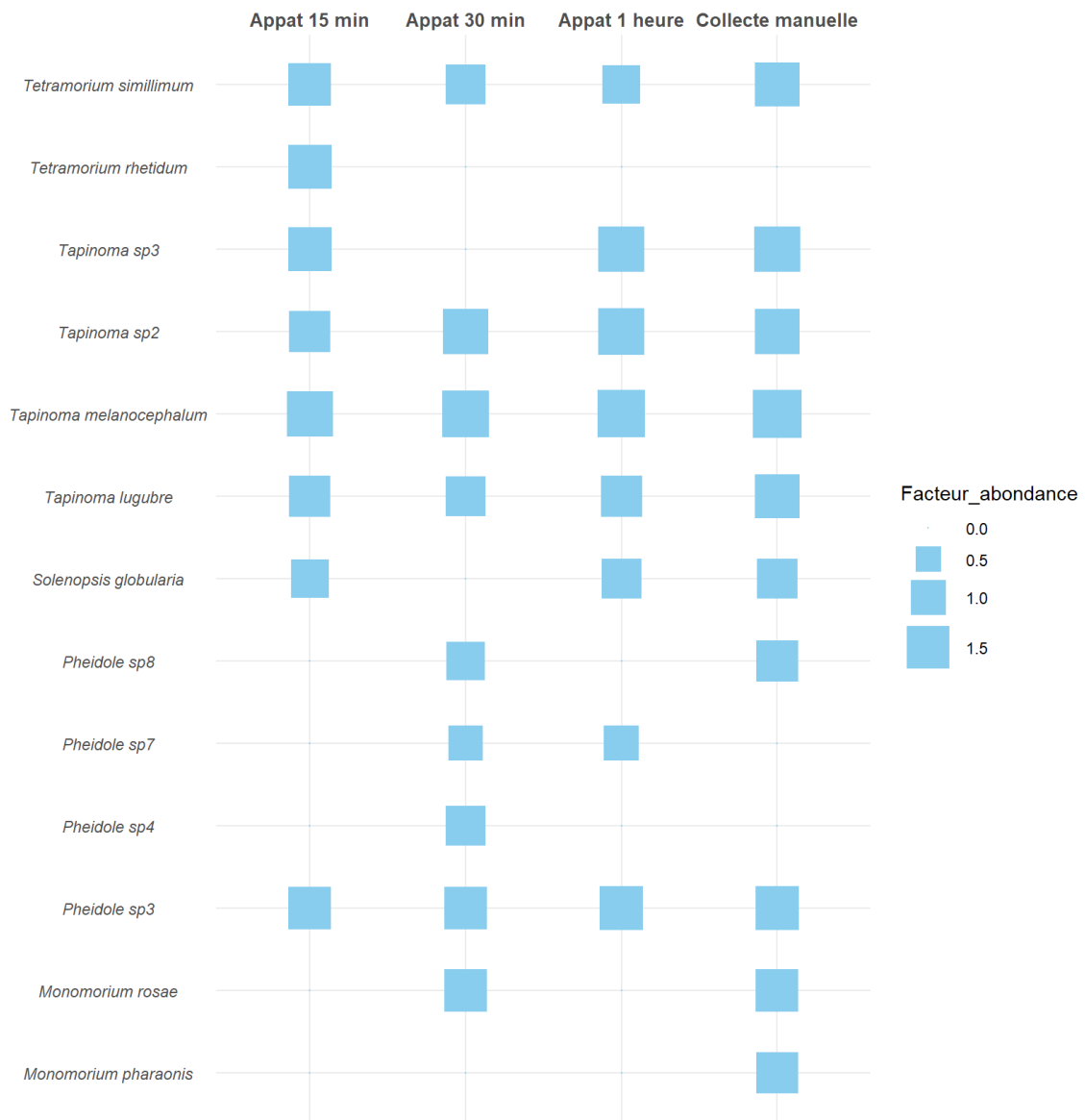


Figure 54: Distribution des abondances des espèces de fourmis des zones de stockages en fonction des méthodes d'échantillonnage

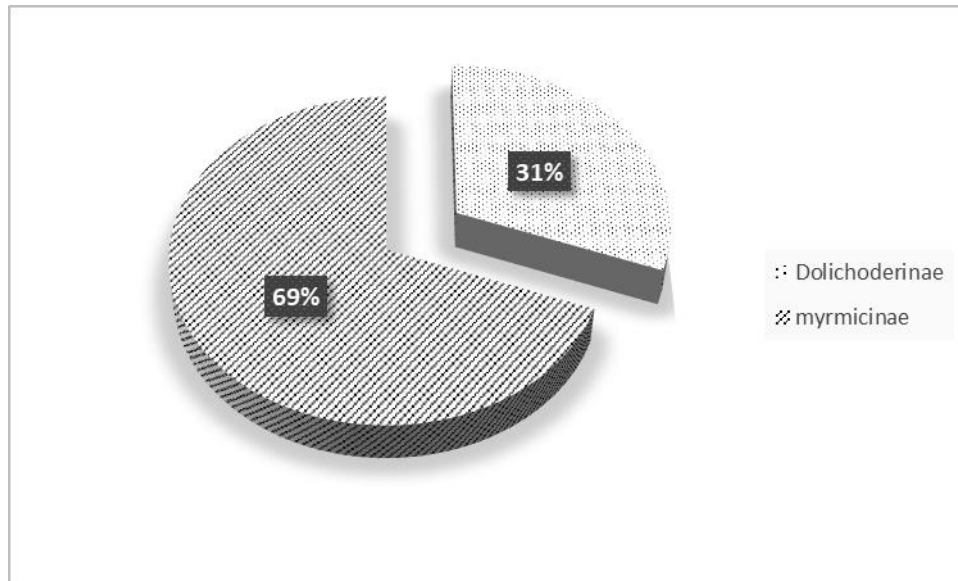


Figure 55 : Proportions des sous-familles de fourmis récoltées dans les zones de stockage

Tableau XVI : Liste des espèces de fourmis récoltées dans les entrepôts brousses

Espèces	E4	E5	E6	Total
<i>Tapinoma melanocephalum</i>	20	0	26	46
<i>Tapinoma lugubre</i>	0	0	18	18
<i>Tapinoma</i> sp.2	0	13	17	30
<i>Tapinoma</i> sp.3	14	0	11	20
<i>Tetramorium simillimum</i>	0	7	10	17
<i>Solenopsis globularia</i>	0	0	8	8
<i>Tetramorium rheidum</i>	0	0	6	6
<i>Pheidole</i> sp.3	12	4	6	26
<i>Monomorium rosae</i>	7	0	3	10
<i>Pheidole</i> sp.4	0	0	3	3
<i>Pheidole</i> sp.7	0	0	2	2
<i>Pheidole</i> sp.8	5	0	1	6
<i>Monomorium pharaonis</i>	3	0	1	4

III.1.3. INFLUENCE DES FOURMIS PREDATRICES SUR LA DYNAMIQUE DES RAVAGEURS DU CACAOYER ET DES FÈVES DE CACAO

III.1.3.1. Proportion des dégâts et variation de l'abondance des attaques de ravageurs sur le feuillage des cacaoyers

Les dégâts occasionnés sur les feuillages des cacaoyers par des ravageurs ont été classés dans des intervalles allant du moins dégradés au plus dégradés (Figure 56). Ainsi différents degrés de dégradation du feuillage des cacaoyers sont observés. Dans l'ensemble des parcelles échantillonnées, deux catégories de dégradation des feuillages sont les plus abondantes. Il s'agit des cacaoyers dont le taux d'attaques sur les feuillages est en dessous de 50 %. Les cacaoyers dont le taux d'attaques sur le feuillage est compris entre 0 et 25 % ont une abondance plus élevée avec 45 % des cacaoyers échantillonnés. Ils sont suivis par les cacaoyers ayant un taux d'attaques des feuilles compris entre 25 et 50 % (35 % des cacaoyers échantillonnés). 14 % et 6 % des cacaoyers échantillonnés ont leurs feuillages attaqués par des ravageurs respectivement entre 50 et 75 % et entre 75 et 100 %.

En analysant les abondances moyennes des attaques de ravageurs sur les feuilles des cacaoyers, une différence significative ($P < 0,0001$) est observée entre les abondances moyennes des attaques de ravageurs des feuillages (Figure 57).

Les cacaoyers dont 0 à 25 % du feuillage sont attaqués sont les plus abondants, suivis de ceux dont 25 à 50 % du feuillage et de ceux ayant 50 à 75 % du feuillage attaqué. Les cacaoyers dont le taux d'attaque du feuillage est compris entre 75 et 100 ont la plus faible abondance moyenne.

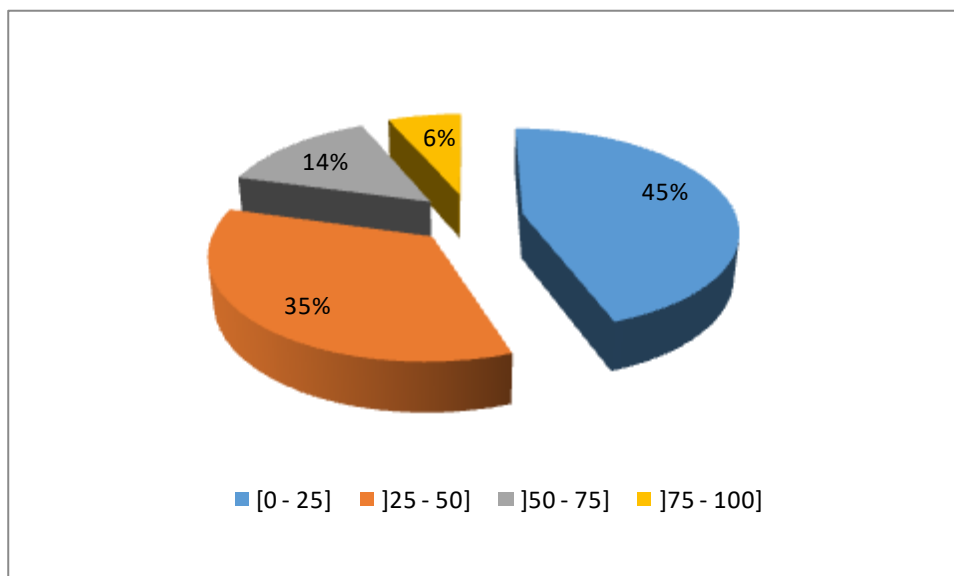


Figure 56: Proportion de dégradation du feuillage des parcelles de cacao

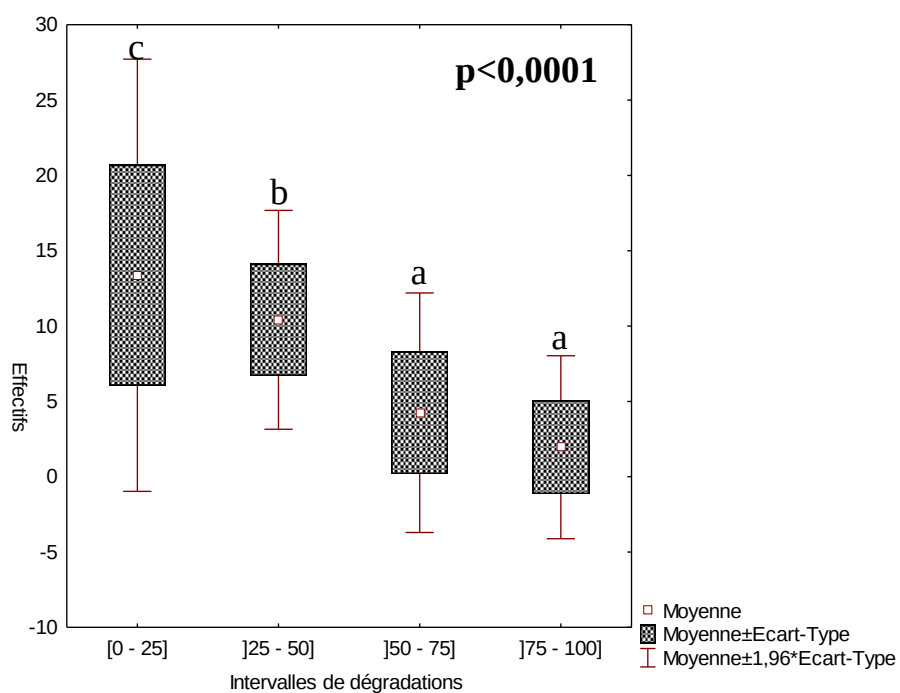


Figure 57 : Abondance moyenne du taux d'attaques des feuilles de cacaoyers

III.1.3.2. Relation entre la présence des fourmis *Oecophylles* et les attaques de ravageurs

En présence de fourmis oecophylles, les cacaoyers à faible taux de dégradation (0-25 %) sont significativement plus nombreux que ceux à taux de dégradation moyenne (25-50 %) et à taux de dégradation > 50 % (Figure 58). Il existe une corrélation négative significative ($r = - 0,96$; $p = 0,04$) entre le niveau de dégradation et le nombre des cacaoyers dégradés.

En absence de fourmis oecophylles, le nombre de cacaoyers à taux de dégradation moyenne (25-50 %) est significativement supérieur aux nombres de cacaoyers faiblement dégradés (taux compris entre 0-25 %) et fortement dégradés (taux supérieur à 50%). Il existe également une corrélation négative mais non significative ($r = - 0,65$; $p = 0,35$) entre le niveau de dégradation et le nombre des cacaoyers dégradés.

En comparant les nombres de cacaoyers dégradés en présence ou absence de fourmis rouges, on note que les premiers sont significativement supérieurs pour un taux de dégradation des feuillages compris entre 0 et 25 %. Au contraire, le nombre de cacaoyers dégradés en absence de fourmis est significativement supérieur pour les taux de dégradation compris entre 25 et 50 % et 50 et 75 %. Le nombre de cacaoyers à taux de dégradation des feuillages compris entre 50 et 75 %, en absence de fourmis est aussi supérieur même si la différence n'est pas significative. La présence importante des oecophylles dans les vergers limiterait la dégradation des feuilles du cacaoyer.

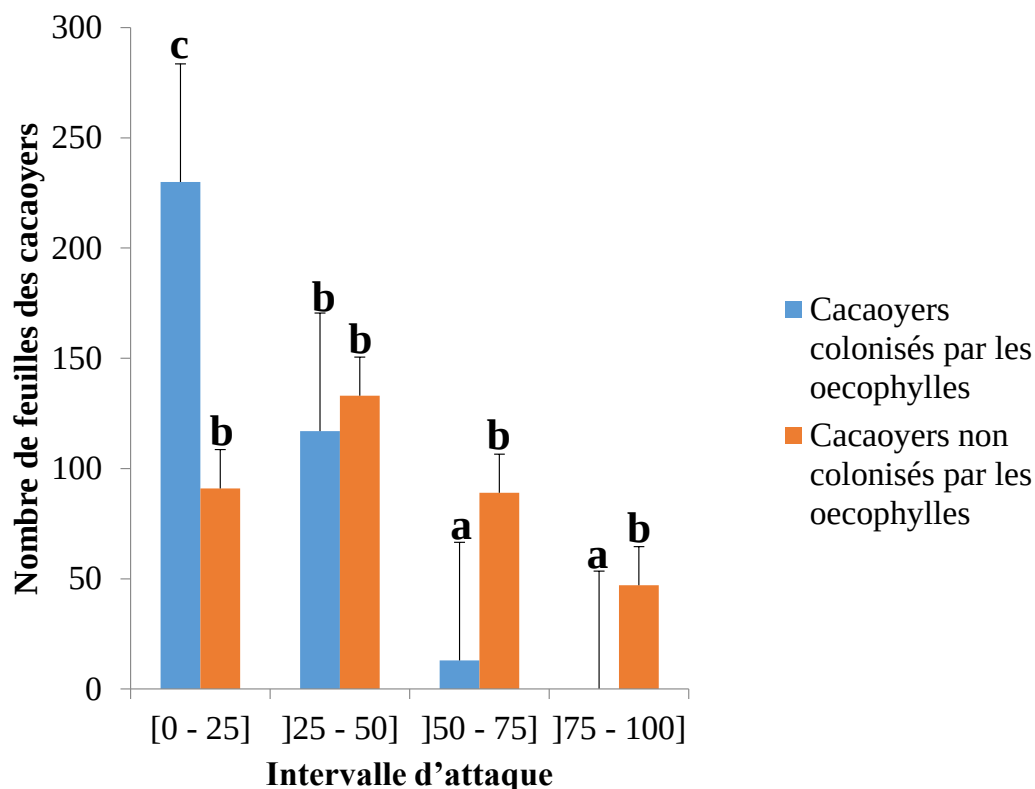


Figure 58: Effet de la présence des oecophylles sur les attaques de ravageurs

III.1.3.3. Relation entre la présence des fourmis *Oecophylla* et l'état des cabosses

Le tableau XVIII présente la variation du nombre de cabosses saines et attaquées en présence ou absence de fourmis dans les vergers.

En présence d'*oecophylles*, le nombre de cabosses saines et de cabosses attaquées par cacaoyer est significativement différent entre les parcelles de 0-10 ans (Anova, $p < 0,001$), 11-20 ans (Anova, $p = 0,0028$) et >20 ans (Anova, $p = 0,019$). Les moyennes des cabosses saines obtenues dans les parcelles varient de $8,05 \pm 0,71$ à $11,42 \pm 0,61$ et celles des cabosses attaquées sont comprises entre $3,475 \pm 0,21$ et $4,61 \pm 0,26$. Par contre, en absence de fourmis *oecophylles*, les valeurs obtenues sont globalement faibles et ne varient pas significativement (Anova ; $p > 0,05$). Les moyennes vont de $3,03 \pm 0,28$ à $5,40 \pm 0,44$ pour les cabosses saines contre $4,36 \pm 0,26$ à $5,78 \pm 0,36$ pour les cabosses attaquées entre les parcelles.

Tableau XVII : Nombre moyen de cabosses saines et de cabosses attaquées en présence et en absence des oecophylles sur les cacaoyers

Parcelles	Présence d'Oecophylles			Absence d'Oecophylles		
	Cabosses saines	Cabosses attaquées	p	Cabosses saines	Cabosses attaquées	p
0-10 ans	10,917 ± 0,709 b	4,608 ± 0,26 a	<0,001	5,017 ± 0,432 a	5,783 ± 0,357 a	0,65
11-20 ans	11,417 ± 0,607 b	3,475 ± 0,21 a	0,0028	5,4 ± 0,442 a	4,358 ± 0,259 a	0,32
>20 ans	8,05 ± 0,708 b	3,367 ± 0,334 a	0,019	3,025 ± 0,284 a	4,95 ± 0,307 a	0,10

S : significatif ; Dans une même ligne, les valeurs portant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Test de Tukey)

III.1.3.4. Evolution des attaques des fèves de cacao par les ténébrions (*Tribolium castaneum*)

En présence des ténébrions, le nombre de fèves attaquées augmente au cours du temps (Figure 59). Cette tendance ascendante est observée dans tous les essais réalisés. Toutefois, une analyse statistique (ANOVA, $p > 0,05$) des trois essais ne montre aucune différence significative entre les abondances d'attaques.

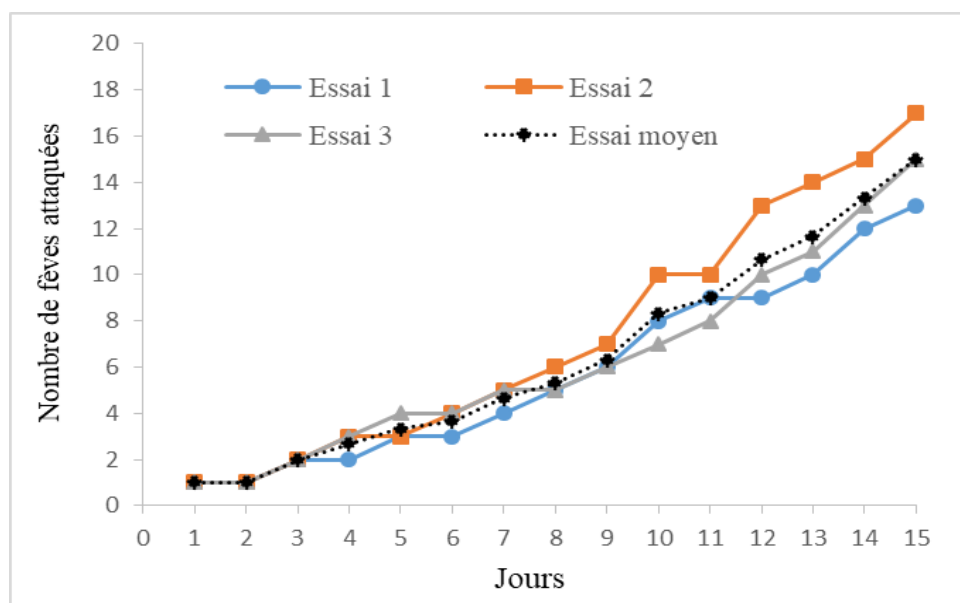


Figure 59: Nombre de fèves de cacao attaquées par les ténébrions au cours du temps

III.1.3.5. Effet des attaques de *Tribolium castaneum* sur la masse des fèves

La comparaison des masses des fèves de cacao avant l'infestation par les ténébrions (T_0) et après l'infestation (T_1) présente une différence significative (Anova, $p < 0,0001$) entre les masses des fèves de cacao. Une diminution importante de la masse des fèves après infestation est observée (Figure 60).

L'analyse des pochons d'un kilogramme de fèves de cacao et de sacs entiers de cacao avant puis après les infestations par les ténébrions (*Tribolium castaneum*) présente des proportions de masses significativement différentes. Pour les pochons d'un kilogramme de cacao, la masse est passée d'un kilogramme de cacao à 695 gramme de cacao au bout de 6 mois d'infestation. Au niveau des sacs entier, la masse de cacao avant l'infestation des fèves était de 50 Kg (T_0). Un an après l'infestation des fèves par les ténébrions (*Tribolium castaneum*), la masse des fèves est passée à 37,5 Kg soit une perte de 12,5 Kg de la masse des fèves (25 % de perte) avec plus de la moitié des fèves de cacao infestée par les ténébrions.

Pour les sacs de cacao (pochons d'un kilogramme ou entier de 50 Kg), la masse des fèves de cacao est liée négativement à l'évolution du temps et des dégâts de ténébrions (*Tribolium castaneum*). La présence des ténébrions a un effet considérable sur la réduction de la masse des fèves.

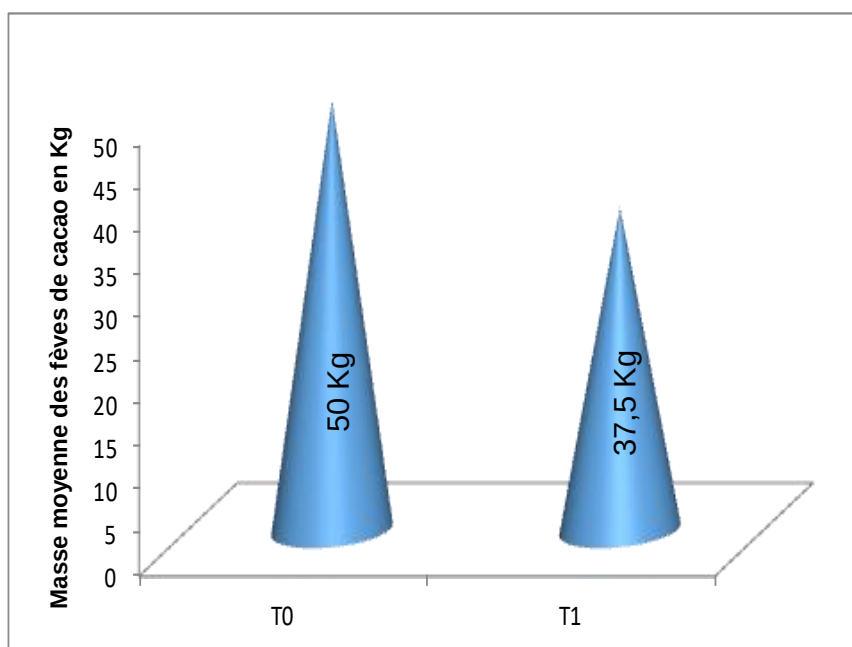


Figure 60: Masse des fèves de cacao avant et après infestation

III.1.3.6. Effet de la prédation de *Tapinoma melanocephalum* sur *Tribolium castaneum* dans les pochons d'un kilogramme de cacao et dans les bacs

Sur les dix premiers jours, la capture des ténébrions augmente lentement, indiquant une phase d'adaptation ou un faible taux de prédation initial. À partir du 10^e jour, une augmentation plus marquée et continue du nombre de ténébrions capturés est observé.

À partir du 20^e jour, la croissance devient plus rapide, montrant une augmentation significative du nombre de ténébrions capturés par jour. Cette tendance se poursuit jusqu'au 30^e jour, où la courbe semble tendre vers un plateau, suggérant une diminution du nombre de ténébrions disponibles. Les trois essais suivent une dynamique similaire, ce qui indique une bonne reproductibilité de l'expérience (Figure 61). De légères variations sont observées entre les essais, mais elles restent minimes, ce qui suggère que les conditions expérimentales ont eu un effet relativement constant sur les captures.

Concernant l'expérience dans les bacs, dès le premier jour, une augmentation régulière du nombre de ténébrions capturés est observée (Figure 62). La progression est relativement similaire pour les trois essais, bien que l'Essai 1 semble initialement capturer plus de ténébrions que les autres.

Dans l'Essai 1, la courbe atteint un plateau temporaire autour du jour 7-10, indiquant une période où peu de ténébrions supplémentaires sont capturés. L'Essai 2 suit une trajectoire plus progressive, avec une montée plus lente que les deux autres essais jusqu'au 10^e jour. L'Essai 3 montre une progression plus régulière, avec une forte accélération après le 10^e jour. À partir du 10^e jour, toutes les courbes montrent une augmentation du nombre de ténébrions capturés. Les trois essais atteignent des valeurs très proches entre le 12^e et le 15^e jour, avec un nombre final de ténébrions capturés oscillant autour de 8 à 10 individus.

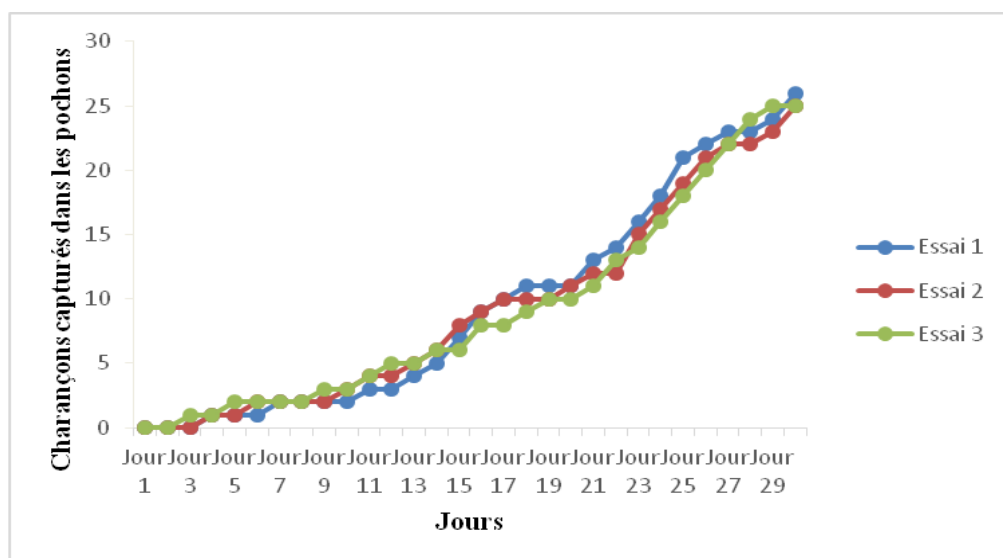


Figure 61: Evolution du nombre de ténébrions attaqués par la fourmi *Tapinoma melanocephalum* dans les pochons

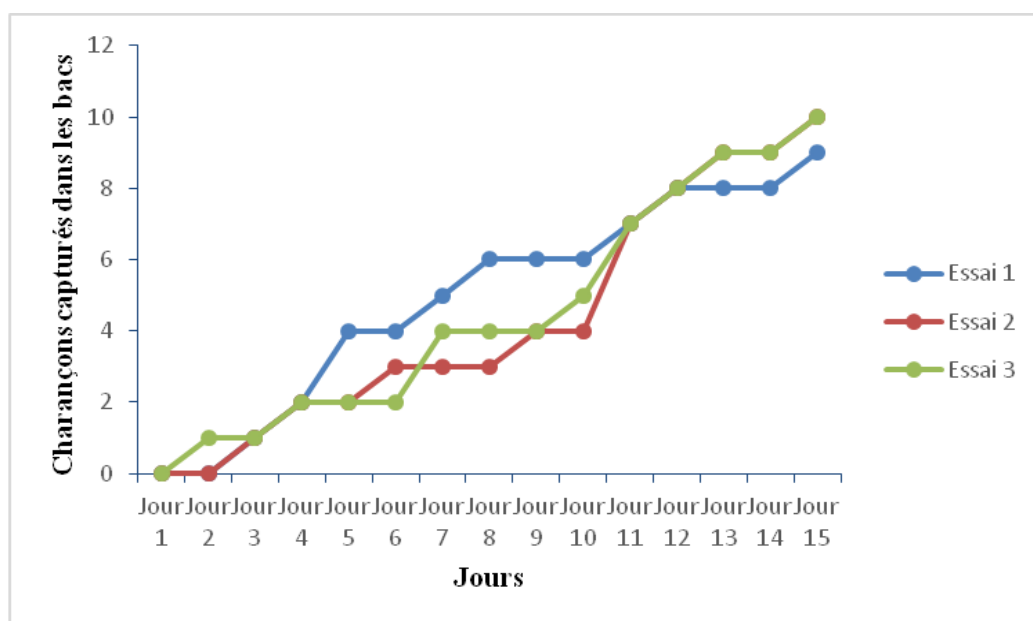


Figure 62: Evolution du nombre de ténébrions attaqués par la fourmi *Tapinoma melanocephalum* dans les bacs

III.1.3.7. Effet de la prédation de *Tapinoma melanocephalum* sur les larves d'*Ephestia cautella* dans les pochons d'un kilogramme de cacao

Le graphe (Figure 63) illustre l'évolution du nombre de larves de Pyralidae mortes sur une période de 30 jours à la suite de la prédation par les fourmis, avec trois essais (Essai 1, Essai 2 et Essai 3).

Durant les premiers jours (J1-J10), le nombre de larves mortes augmente lentement. À partir du 10^e jour, la mortalité des larves augmente plus rapidement. L'Essai 3 se distingue par une mortalité plus importante des larves dès cette phase. Entre le 20^e et le 30^e jour, la courbe tend à se stabiliser. Les trois essais suivent une dynamique similaire, suggérant une bonne reproductibilité de l'expérience. L'Essai 3 montre une prédation plus importante et plus régulière sur l'ensemble de la période, tandis que les Essais 1 et 2 présentent des fluctuations plus marquées, notamment entre J15 et J20. À la fin de l'expérience, le nombre total de larves mortes est proche dans les trois essais, ce qui suggère que la densité initiale de proies et la capacité prédatrice des fourmis atteignent un point d'équilibre.

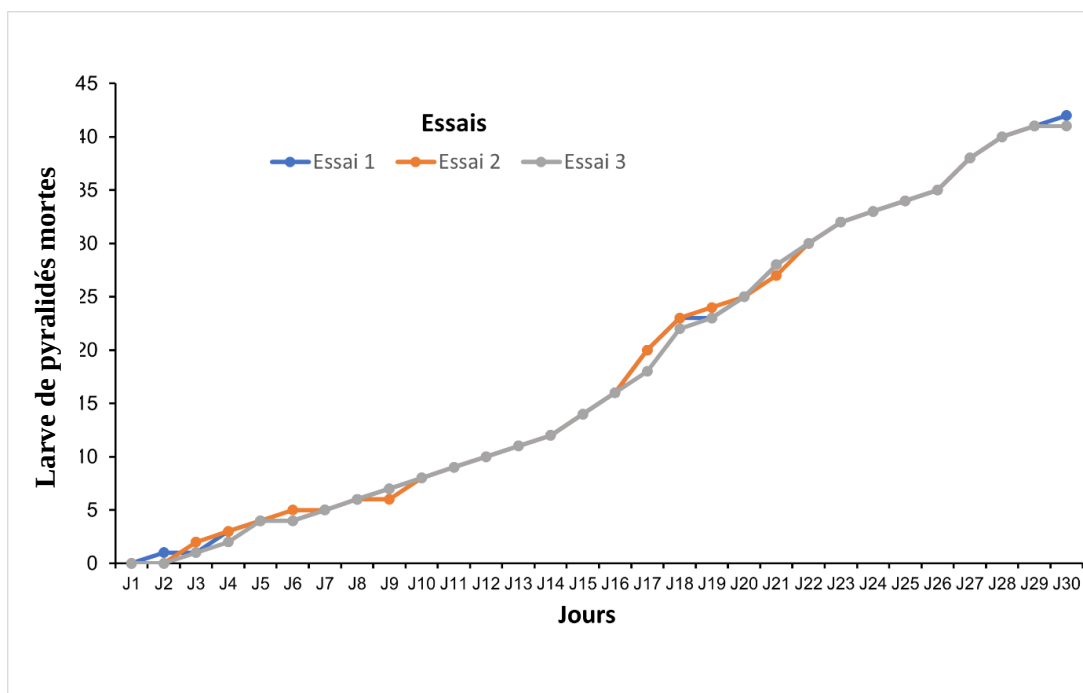


Figure 63: Nombre de larves des Pyralidae attaquées par la fourmi *Tapinoma melanocephalum* dans les pochons de cacao

III.2. DISCUSSION

Caractéristiques socio-entomologiques des vergers de cacaoyers dans la région du Haut-Sassandra

L'enquête menée a montré qu'il y a une forte proportion d'hommes (96,67 %) que de femmes (3,33 %) possédant des plantations cacaoyères. La faible participation des femmes serait due au fait que celles-ci n'ont généralement pas de temps pour cultiver le cacao, car elles sont occupées à faire les tâches ménagères et à l'éducation des enfants. Par contre, les hommes ayant plus de force physique et plus de temps sont adaptés pour ce genre de cultures. Ils utilisent les revenus pour faire face aux besoins de la famille. Il faut également souligner que la création de plantations de cultures pérennes en Côte d'Ivoire est réservée aux hommes et les femmes propriétaires de plantations héritent généralement d'un parent décédé. Ces résultats sont comparables à ceux rapportés par Koné & Ibo (2009), qui ont montré que les femmes ont droit aux cultures vivrières et maraîchères (parce que ce sont elles qui font la cuisine) mais sont pour la plupart, exclues des cultures pérennes.

La majorité des plantations cacaoyères étudiées ont été établies sur d'anciennes forêts, ce qui reflète une tendance bien connue dans les zones de production de cacao en Afrique de l'Ouest, notamment en Côte d'Ivoire. Cette situation pourrait être liée au fait que les producteurs soient constamment à la recherche de sols fertiles, riches en matière organique, que les forêts offrent naturellement. Ces résultats sont en accord avec ceux de Ruf & Zadi (1998), car selon eux, la conversion de forêts en plantations cacaoyères est motivée par la qualité du sol et la disponibilité de terres. Toutefois, cette pratique a un impact environnemental majeur, notamment la déforestation et la perte de biodiversité, les observations de Gockowski & Sonwa (2011) le montre aisément. De plus, cultiver sur des zones forestières permet au cacao de bénéficier dans un premier temps d'un microclimat favorable (ombre naturelle, humidité), ce qui est essentiel pour les jeunes plants. En effet, selon Sib (2022), le système d'ombrage améliore la production des plantations cacaoyères. Cependant, ce modèle est souvent non durable, surtout en l'absence de pratiques agroforestières.

Toutes les plantations étudiées sont des exploitations familiales, avec des superficies allant de 0,5 à 12 hectares, pour une moyenne de 3,24 ha par agriculteur. Cela se justifierait par le fait que les exploitations sont souvent gérées par le chef de famille avec l'aide des membres du ménage.

Les producteurs manquent parfois de moyens techniques et financiers pour entretenir leurs plantations, ce qui limiterait leur productivité de celles-ci. La taille moyenne observée reflète une production à petite échelle. Ces résultats corroborent ceux de Jagoret *et al.* (2017), qui avait observé qu'en Côte d'Ivoire, la culture du cacao reste une activité dominée par les petits exploitants. Selon Assiri *et al.* (2009), la taille moyenne des vergers de cacao par producteur a varié de 3,5 ha dans les années 1970 à 6,3 ha en 2003. Cependant, ces tailles ont tendance à diminuer en raison de l'abandon et de la conversion de certaines anciennes fermes de cacao en plantations d'autres cultures pérennes telles que le palmier à huile, l'hévéa, etc. Cette diminution de la taille des vergers serait liée au ralentissement de la dynamique d'extension du cacaoyer dû à l'épuisement des réserves forestières.

Les producteurs de cacao de la zone d'étude utilisent le matériel végétal «tout venant», hormis une poignée d'agriculteurs cultivant la variété améliorée du CNRA (Mercedes). L'abondance de la variété non améliorée dans les exploitations agricoles met en évidence une faible adoption par les producteurs du matériel végétal sélectionné.

Ce faible niveau d'adoption de l'innovation peut être lié en partie au faible niveau de revenu des producteurs, ainsi qu'au manque d'information. Siapo *et al.* (2018) ont soutenu que le coût des semences dans le département de Daloa est de 17 USD / ha pour le « cacao Mercedes » alors que le producteur ne paie rien pour le « tout venant ». La gratuité du matériel végétal « tout venant » serait donc un facteur important dans le choix du matériel végétal dans la zone d'étude.

L'étude révèle que les mirides, les foreurs de tiges et la punaise verte sont les principaux ravageurs du cacaoyer. À cela s'ajoutent les termites, les chenilles et les cochenilles, qui causent également des dégâts notables dans les vergers. Cela montre que ces insectes seraient à l'origine de pertes importantes de rendement observé dans la production cacaoyère. En effet, les mirides abîment les jeunes pousses et font chuter les fleurs, les foreurs creusent les tiges, ce qui pourrait tuer l'arbre et la punaise verte endommage les cabosses. En plus de ces ravageurs majeurs, d'autres insectes comme les termites, les chenilles et les cochenilles posent aussi problème. Les termites attaquent les racines, les chenilles mangent les feuilles, et les cochenilles affaiblissent les arbres en suçant la sève. Cette observation de l'ampleur des dégâts causés par les ravageurs sur le cacao est confirmée par les diagnostics posés par plusieurs auteurs comme Pohe *et al.* (2013); N'Guessan *et al.*, (2014); Tra Bi *et al.* (2010); Sib *et al.* (2020) et Kissi *et al.* (2022). En effet, les foreurs de tiges perforent les tiges du cacaoyer provoquant près de 25,8 % de pertes en Côte d'Ivoire (N'Guessan *et al.*, 2014).

En Côte d'Ivoire, les termites attaquent également les cacaoyers et peuvent provoquer la mort des plantes (Sib *et al.*, 2020).

La forte présence de mirides, de foreurs de tiges et de punaises vertes dans les trois classes d'âges des vergers de cacaoyers pourrait être due aux conditions favorables à leur installation et leur reproduction. Ces résultats sont en accord avec ceux de Kébé *et al.* (2015) qui affirme que, la disponibilité continue de ressources nutritives et la stabilité microclimatique offerte par l'écosystème cacaoyer est propice à la persistance de ces insectes. De plus, le cacaoyer abrite un large éventail d'insectes nuisibles à tous les stades de son développement selon Kouamé *et al.* (2015).

La présence persistante d'insectes ravageurs malgré l'utilisation de pesticides pourrait être expliquée par plusieurs facteurs. Tout d'abord, il est possible que les insectes développent une résistance aux pesticides utilisés, rendant ces produits moins efficaces avec le temps.

De plus, certains insectes ravageurs peuvent avoir des cycles de reproduction rapides et des capacités d'adaptation élevées, ce qui leur permet de survivre et de se reproduire malgré les traitements chimiques. Aussi, l'utilisation excessive ou inappropriée de pesticides peut perturber l'équilibre écologique naturel, favorisant ainsi la prolifération d'insectes ravageurs et la diminution des populations d'organismes bénéfiques qui pourraient les contrôler. Enfin, des conditions environnementales telles que la météo, la qualité du sol ou la présence de plantes hôtes alternatives peuvent également influencer la présence des insectes ravageurs. Ainsi selon Howard *et al.* (1994), un des gros handicaps de plusieurs pesticides est l'aptitude de certains insectes et acariens à créer des races résistantes à ces pesticides. Lorsque ceci survient, il devient inutile de continuer à les utiliser. Non seulement leur efficacité devient faible ou nulle, mais leur utilisation peut aggraver le problème, car ils peuvent détruire d'autres organismes qui interviennent dans la lutte biologique naturelle contre les agents pathogènes et les autres ravageurs.

Les parcelles en bon état sont en nombre élevé dans les cacaoyers des classes d'âges de 0-10 ans et 11-20 ans, tandis que les parcelles dégradées sont en nombre plus élevé dans la classe d'âge de cacaoyer supérieur à 20 ans. Cela signifie qu'il existe une relation entre l'âge des cacaoyers et l'état des parcelles. Cela s'expliquerait par plusieurs facteurs. Les jeunes plantations en bon état bénéficieraient de pratiques culturales plus récentes, des techniques d'entretien plus efficaces et une meilleure gestion de la fertilité du sol. Ces plantations subiraient donc moins de pression de ravageurs.

Ces résultats corroborent ceux de Kéli *et al.* (2020), qui affirme que les agriculteurs y investissent davantage de soins dans les plantations plus jeunes. En revanche, les parcelles plus anciennes sont pour la plupart dégradée car elles auraient peut-être subi une plus grande intensité d'utilisation des terres. En effet, les producteurs ont tendance à délaisser cette catégorie de verger. Selon Assiri *et al.* (2009), les vieilles cacaoyères sont confrontées à une baisse de fertilité des sols, à l'épuisement des arbres, à l'accumulation de parasites et de maladies, ainsi qu'à un entretien réduit avec le temps. Ces facteurs contribuent à leur dégradation progressive.

Diversité et abondance de fourmis associées aux cacaoyers et aux entrepôts de stockage

Les résultats indiquent que l'efficacité de l'échantillonnage est globalement satisfaisante, avec plus de 70 % de la myrmécofaune attendue collectée dans chacune des localités étudiées.

Le taux de couverture moyen (76,5 %) indique que la diversité des fourmis a été raisonnablement bien caractérisée à l'échelle des départements. Selon Colwell & Coddington (1994) et Chao & Jost (2012), un taux de couverture supérieur à 70 % est généralement considéré comme un niveau d'échantillonnage adéquat, car il indique que la majorité des espèces potentiellement présentes ont été recensées. Par ailleurs, la faible abondance d'espèces uniques (rares ou ayant une faible occurrence) confirme un bon niveau de couverture dans la mesure où un échantillonnage insuffisant se traduit souvent par un plus grand nombre d'espèces uniques (Gotelli & Colwell, 2001).

La similarité entre la composition spécifique des fourmis le long des transects appartenant à un même habitat est jugée « moyenne ». En effet, l'auto-similarité varie peu entre les habitats et reste globalement supérieure à 50 %, reflétant une homogénéité relative de la composition spécifique. Dans les départements de Vavoua (0,56) et d'Issia (0,55), la composition en espèces est assez proche d'un transect à l'autre, tandis que dans ceux de Zoukougbeu (0,62) et de Daloa (0,60), les transects se différencient davantage. Le fait que l'auto-similarité dépasse les 50 % confirme néanmoins que l'effort d'échantillonnage est jugé satisfaisant (Krebs, 1999). Les variations observées entre départements peuvent s'expliquer par des différences locales en termes de pratiques agricoles, de microclimat ou de structure paysagère (Perfecto & Vandermeer, 1996).

Par ailleurs, l'analyse des courbes de biodiversité a porté sur les cacaoyers de quatre départements (Daloa, Issia, Vavoua et Zoukougbeu), en tenant compte de trois classes d'âge des plantations (jeunes : 0-10 ans, intermédiaires : 11-20 ans, âgés : >20 ans).

Cette approche permet d'appréhender les dynamiques de la myrmécofaune en fonction de la maturité des parcelles cacaoyères. Les différences potentielles de composition et de richesse spécifique selon l'âge des plantations pourraient refléter des modifications graduelles du couvert végétal, de la disponibilité des ressources ou de la structure du sol, autant de facteurs influençant la distribution et l'abondance des fourmis (Philpott & Armbricht, 2006).

La richesse spécifique, la diversité et l'équitabilité varient en fonction des habitats et des classes d'âge des plantations cacaoyères, révélant ainsi des dynamiques écologiques distinctes entre les localités. Les localités de Daloa et Zoukougbeu affichent des valeurs de richesse spécifiques élevées dans toutes les classes d'âge, cela montrerait une diversité stable et relativement riche dans ces habitats. À l'inverse, Vavoua présente la richesse spécifique la plus faible, en particulier dans les jeunes plantations, indiquant un écosystème moins diversifié et potentiellement plus perturbé. Issia, quant à elle, montre une tendance d'augmentation progressive de la richesse avec l'âge, atteignant un maximum de 36 espèces dans la classe 11-20 ans. Cette évolution peut refléter le temps nécessaire à l'accumulation et à la colonisation des niches écologiques dans un environnement se complexifiant (Magurran, 2004). Les valeurs de diversité de Simpson, comprises entre 0,813 et 0,932, traduisent une forte diversité dans l'ensemble des habitats. Daloa et Zoukougbeu, avec des indices autour de 0,905 à 0,932, montrent que ces habitats bénéficieraient d'une répartition équilibrée des espèces, ce qui est souvent le signe d'un écosystème robuste et mature (Simpson, 1949). En revanche, Vavoua, notamment dans la classe 0-10 ans, enregistre une diversité plus faible (0,813), ce qui est cohérent avec sa moindre richesse spécifique. L'équitabilité, qui reflète la répartition des individus entre les espèces, varie de manière plus marquée entre les habitats et selon l'âge des plantations. Par exemple, Daloa dans la classe 11-20 ans atteint une équitabilité élevée (0,725), indiquant une répartition homogène des individus parmi les espèces. À l'inverse, Vavoua dans la classe 0-10 ans présente une équitabilité faible (0,422), traduisant une forte dominance de quelques espèces sur les autres. Globalement, les habitats plus anciens (>20 ans) tendent à présenter des valeurs plus élevées d'équitabilité, suggérant une stabilisation progressive des communautés et une meilleure répartition des ressources (McGill *et al.*, 2006). L'abondance totale des fourmis est plus élevée à Daloa et Zoukougbeu, cela pourrait être dû aux conditions environnementales qui seraient plus favorables à la survie et à la reproduction des espèces dans ces départements par rapport à Vavoua qui enregistre une abondance la plus faible.

Sur l'ensemble des parcelles, 79 espèces regroupées en 25 genres, appartenant à 5 sous-familles ont été collectées. Les départements de Daloa, Issia et Zoukougbeu possèdent une richesse spécifique plus élevée (51, 51 et 52 espèces) contre 42 espèces dans le département de Vavoua. Cette différence au niveau de la diversité des espèces pourrait être due aux conditions environnementales telles que le climat, le relief et la disponibilité des ressources qui peuvent être plus favorables à la diversité des espèces dans les départements de Daloa, Issia et Zoukougbeu par rapport à Vavoua. De plus, les efforts de conservation de la biodiversité, tels que la protection des habitats naturels et la mise en œuvre de pratiques agricoles durables, les sensibilisations des coopératives seraient plus développés dans les départements de Daloa, Issia et Zoukougbeu, ce qui contribue à maintenir et à promouvoir une agriculture durable susceptible d'avoir un effet sur la diversité des espèces dans ces zones. En outre, les effets de l'exploitation des ressources naturelles et des activités humaines sur l'environnement peuvent différer entre les départements, ce qui pourrait influencer la diversité actuelle des espèces dans chaque région. Toutefois, à l'échelle nationale, la diversité de la zone d'étude reste faible car selon Yéo (2006) et Koné (2013), au moins 10 sous-familles sont connues en Côte d'Ivoire. En effet, le premier a obtenu 143 espèces regroupées en 45 genres et 10 sous-familles dans une forêt galerie, une forêt du plateau et une savane de la réserve de Lamto. Le second a obtenu 118 espèces regroupées en 41 genres et 10 sous-familles dans un milieu naturel et dans différents modes d'utilisation des terres (plantations de différents types de culture). Le faible nombre d'espèces de fourmis obtenue dans notre étude pourrait se justifier par le fait que l'étude s'est déroulée uniquement dans des milieux anthropisés. A l'opposé, Djioa et Sadoudi (2014) ainsi que Dieng *et al.* (2022) ont obtenu une richesse spécifique inférieure à celle observée dans cette étude avec respectivement 15 espèces appartenant à 3 sous-familles dans quelques milieux forestiers et agricoles de la Kabylie (Algérie) et 33 espèces réparties en 4 sous-familles 15 genres dans la zone minière de Sabodala (Sénégal oriental). Cette différence pourrait être due aux méthodes d'échantillonnages utilisées pour la collecte de la myrmécofaune. En effet, contrairement à la méthode d'échantillonnage de ces auteurs (Protocole ALL et monolithes), cette étude s'est basée sur l'application de trois techniques permettant de collecter la myrmécofaune de la litière, de la canopée et des micro-habitats. Ce qui a permis de récolter un grand nombre d'espèces de fourmis. Le milieu d'étude et les méthodes d'échantillonnage influencent donc sensiblement les résultats de collecte (Groc, 2011).

La similarité des milieux basée sur la composition spécifique montre que les parcelles sont regroupées en (02) deux groupes. Les parcelles des départements de Daloa, Issia et Zoukougbeu sont pratiquement similaires, par contre, elles diffèrent de celles de Vavoua.

La similarité entre les parcelles des départements de Daloa, Issia et Zoukougbeu (groupe I) serait due à des ressemblances entre leurs écosystèmes. La différence de la composition spécifique des parcelles du groupe I et celles de Vavoua (groupe II) pourrait être due aux pratiques culturales qui provoqueraient la disparition de certaines espèces et à la recolonisation des habitats par des espèces plus adaptés. Ces résultats sont proches de ceux de Koné (2013) qui stipulent que la composition en fourmis des plantations d'ananas est différente des autres modes d'utilisation des terres.

Cela pourrait s'expliquer par la monoculture sans arbres et avec un spectre très limité de disponibilité de site de nidification, probablement dû à une importante utilisation de pesticides, d'herbicides, de fongicides et à la mécanisation (Koné, 2013).

Les valeurs de complémentarité obtenues fournissent un aperçu de la différenciation entre les communautés d'espèces présentes dans différents habitats, ainsi que de l'évolution de cette différenciation en fonction de la tranche d'âge des plantations. Pour la première tranche d'âge, les valeurs de complémentarité varient entre 47 % et 60 %. La paire d'habitats Issia - Zoukougbeu, affichant la valeur la plus élevée (60 %), indique une différence marquée dans la composition spécifique, tandis que la paire Daloa - Zoukougbeu, avec 47 %, suggère une forte similarité entre ces habitats. La valeur moyenne autour de 57 % traduirait un niveau intermédiaire de différenciation entre les habitats pour cette tranche d'âge. En examinant la tranche d'âge suivante, une dispersion plus large des valeurs de complémentarité allant de 46 % à 67 % est observée.

La paire Issia - Vavoua, avec 67 %, révèle des communautés d'espèces très différentes, alors qu'une valeur de 46 % pour la paire Vavoua - Zoukougbeu témoigne d'une grande similarité. Ces variations indiqueraient une tendance générale à une différenciation accrue entre certains habitats, comparativement à la classe d'âge 0-10 ans. Enfin, dans la classe d'âge > 20 ans, les valeurs de complémentarité sont globalement plus faibles, oscillant entre 40 % et 56 %.

La paire Daloa - Zoukougbeu montre la complémentarité la plus faible (40 %), traduisant une forte similarité dans la diversité spécifique, tandis que la paire Issia - Vavoua, avec 56 %, indique une différenciation marquée entre les espèces.

Cette diminution générale des valeurs suggère que, avec le temps, les habitats tendent à devenir plus homogènes en termes de diversité spécifique, possiblement en raison d'une stabilisation des communautés d'espèces sous l'effet de conditions environnementales convergentes et de pressions sélectives similaires (Baselga, 2010; Anderson *et al.*, 2011). Ces résultats démontrent que la différenciation des habitats, mesurée par la complémentarité, varie non seulement selon les paires d'habitats mais aussi en fonction de l'âge des plantations. La plus grande différenciation observée dans certaines classes d'âge pourrait refléter des stades transitoires où les communautés sont encore en cours d'établissement. En revanche, la tendance vers une homogénéisation dans les habitats plus anciens suggère une stabilisation écologique des communautés, ce qui concorde avec les observations de Chase *et al.* (2011) sur la réduction du turnover des espèces dans des écosystèmes matures.

La fréquence d'occurrence en fonction de la méthode d'échantillonnage montre que les plus fortes occurrences sont obtenues par l'utilisation de la méthode des pitfall pour tous les départements. Elles sont suivies de celles de la méthode appâts et les plus faibles occurrences par l'utilisation de la méthode de battage. Cela traduit le fait que la méthode des pitfall permet de capturer le maximum de fourmis. En effet, cette méthode, qui implique l'utilisation de pièges creusés dans le sol, peut être plus efficace pour capturer une gamme plus large d'espèces d'insectes, y compris ceux qui sont actifs au sol ou souterrains. Cela peut conduire à des occurrences plus élevées en raison de la sensibilité de cette méthode à ces types d'espèces. Au niveau de la méthode des appâts, les espèces se partageaient les appâts dans certains cas ou monopolisaient la nourriture (Thon) pour elles seules. Aussi, la méthode d'échantillonnage utilisant des appâts peut être particulièrement efficace pour attirer certains types d'insectes, tels que ceux qui se nourrissent de matières organiques ou de substances sucrées. Cependant, elle pourrait être moins sensible pour capturer d'autres groupes d'insectes qui ne sont pas attirés par les appâts utilisés. En ce qui concerne la méthode de Battage, la faible occurrence à ce niveau s'expliquerait par le fait qu'elle implique de frapper la végétation pour faire tomber les fourmis sur une surface de collecte. Elle pourrait être donc moins efficace pour capturer certains types d'espèces, en particulier celles qui sont bien cachées ou qui ne sont pas facilement délogées par cette méthode. Enfin, Les conditions écologiques spécifiques à chaque département, telles que le type de végétation, le climat et la présence d'autres facteurs environnementaux, peuvent influencer la prévalence des différentes espèces d'insectes et leur sensibilité aux différentes méthodes d'échantillonnage. Ces résultats sont en accord avec ceux de Kouakou (2015), qui selon lui, les espèces de fourmis qui sont les

premières à découvrir les appâts le partageaient soit avec d'autres fourmis, soit le monopolisaient ou bien elles étaient chassées de l'appât par d'autres espèces de fourmis.

La variation de l'abondance des sous-familles de fourmis obtenues dans la zone d'étude montre que la sous-famille des Myrmicinae est la plus abondante, elle est suivie de la sous-famille des Formicinae, puis celle des Ponerinae, ensuite de la sous-famille des Dorylinae et enfin celle des Dolichoderinae qui reste en nombre inférieur. Cette variation de l'abondance pourrait être attribuée aux préférences écologiques et à des interactions complexes entre les espèces de fourmis et leur environnement. De ce fait, Chaque sous-famille de fourmis peut avoir des préférences spécifiques en termes d'habitat, de régime alimentaire ou de conditions environnementales. Subséquemment, les interactions compétitives ou symbiotiques avec d'autres espèces de fourmis ou d'insectes peuvent influencer l'abondance relative des sous-familles. Certaines sous-familles pourraient être mieux adaptées pour coexister avec d'autres espèces, tandis que d'autres pourraient être plus compétitives et dominer dans certains habitats. La disponibilité des ressources alimentaires et des sites de nidification, peut varier dans l'environnement et influencer la distribution et l'abondance des sous-familles de fourmis. Les sous-familles les plus abondantes peuvent être celles qui sont le mieux adaptées pour exploiter efficacement les ressources disponibles. De même, les perturbations telles que les incendies, les changements d'utilisation des terres ou les activités humaines peuvent avoir un impact sur la distribution et l'abondance des fourmis en modifiant leur habitat ou en perturbant leurs interactions écologiques. En outre, les différentes sous-familles de fourmis peuvent être associées à différentes étapes de la succession écologique, ce qui peut influencer leur abondance dans des habitats en cours de développement ou de régénération. Certaines sous-familles peuvent être plus abondantes dans les habitats matures, tandis que d'autres peuvent préférer les habitats plus ouverts ou perturbés. Par conséquent, cette forte abondance des Myrmicinae dans la zone d'étude serait due à la capacité de celle-ci à s'acclimater facilement dans les différents milieux. Ces résultats sont proches de ceux de Awatif (2000), qui affirme que certaines espèces de fourmis principalement ceux appartenant à la sous-famille des Myrmicinae, arrivent à s'adapter facilement dans le milieu aride. En effet, Donzé (2011) soutient également que le succès écologique des fourmis, au-delà de la vie sociale, est lié à leur capacité d'adaptation hors norme, en tant que groupe, à des milieux très diversifiés.

La composition spécifique du milieu en fonction du gradient d'âge des parcelles montre que toutes les parcelles (jeunes, intermédiaires et âgées) sont dominées par l'espèce *Oecophylla longinoda* avec respectivement 196 occurrences, 133 occurrences et 171 occurrences. Ces vergers pourraient offrir des conditions environnementales spécifiques, telles que le climat, le type de végétation et la qualité des sols, qui favorisent la présence et la prospérité de l'espèce *Oecophylla Longinoda*. Les habitats présents dans les départements de Daloa, Issia, Zoukougbeu et Vavoua pourraient être particulièrement adaptés aux besoins écologiques de l'espèce *Oecophylla Longinoda*, offrant des sites de nidification et des ressources alimentaires abondantes. De plus, Ces départements pourraient connaître une stabilité environnementale relative et être moins sujets à des perturbations telles que les pesticides ou les modifications de l'habitat, ce qui favoriserait la domination de l'espèce *Oecophylla Longinoda*.

Ensuite, Il est possible que cette espèce entretienne des relations symbiotiques bénéfiques avec les cultures locales, ce qui pourrait favoriser sa présence dans ces départements où ces cultures sont prédominantes. L'espèce *Oecophylla Longinoda* pourrait avoir colonisé ces départements et s'y être adaptée avec succès, ce qui expliquerait sa domination dans ces régions.

En définitive, il faudrait souligner que cette espèce arriverait à s'acclimater facilement dans ces milieux et aussi qu'elle aurait une facilité à s'approvisionner en nourriture dans ces milieux. Ces résultats corroborent ceux de Coulibaly *et al.* (2023) qui observe une forte abondance des fourmis Oecophylles sur les manguiers de la variété Kent dans le nord de la Côte d'Ivoire. Selon les observations d'Allou *et al.* (2006), une présence importante de fourmis Oecophylles a été notée dans des parcelles de cocotiers ayant plus de 4 ans. Toutefois, ces résultats diffèrent de ceux de Koné (2013) qui a trouvé l'espèce *Camponotus acvapimensis* très abondante dans les cacaoyers de classe I (cacaoyers jeunes). Cette différence pourrait être due au fait que les strates échantillonnées sont différentes avec des méthodes de collectes variables. En effet, les strates d'échantillonnages concernées dans cette étude étaient la litière et la canopée et les méthodes d'échantillonnages étaient les pièges fosse (une des composantes du protocole ALL), les appâts et le battage. Par contre, celle de Koné (2013) a porté essentiellement sur la litière et les méthodes d'échantillonnages utilisées étaient le protocole ALL et le monolithe.

Les espèces de fourmis récoltées sont réparties en six (06) groupes fonctionnels: Dominants arboricoles, Nomades, Omnivores, Opportunistes, Parasites et Prédateurs.

Dans cette étude, le groupe fonctionnel majoritaire est le groupe des omnivores (53 %), ils sont suivis des dominants arboricoles (25 %), ensuite des prédateurs (19 %), des Nomades (2 %), puis des opportunistes et des parasites (1 %). En effet, les différentes parcelles cacaoyères peuvent offrir une variété d'habitats, ce qui permet à une gamme diversifiée d'espèces d'y prospérer. Certaines guildes fonctionnelles peuvent être favorisées dans certains types d'habitats, ce qui conduit à une répartition inégale des espèces. Les espèces omnivores peuvent être plus abondantes en raison de leur capacité à se nourrir d'une variété de ressources alimentaires disponibles dans les parcelles cacaoyères. De plus, la disponibilité de ressources alimentaires spécifiques peut influencer la composition des guildes fonctionnelles car, la grande variété de plantes qui s'y trouve, offre une diversité d'habitats et permet d'abriter une abondance de nourriture. Les interactions entre les différentes espèces, telles que la compétition, la prédation et la symbiose, peuvent également influencer la répartition des groupes fonctionnels. Les conditions environnementales locales, telles que le climat, le sol et la topographie, peuvent également influencer la composition des espèces dans les parcelles cacaoyères. Ces résultats confirment ceux de Koné (2013), qui selon lui, les omnivores sont abondants dans tous les habitats (plantations cacaoyères suivant un gradient d'âge et forêt), à l'exception des cacaoyères de la classe II où cette abondance diminue.

Dans cette étude, sur six (06) entrepôts échantillonnés, seul trois entrepôt a permis de collecter 13 espèces de fourmis dans les zones de stockage de fèves de cacao. Ces espèces sont réparties en 5 genres (*Monomorium*, *Pheidole*, *Solenopsis*, *Tapinoma* et *Tetramorium*) et appartiennent à 2 sous-familles : les Dolichodorinae et les Myrmicinae. Les entrepôts concernés dans cet échantillonnage étaient les entrepôts Cales et brousses. Les entrepôts cales sont des entrepôts qui accueillent les fèves qui sont prêtes à l'exportation. Dans ces entrepôts les fèves peuvent être stockées au maximum deux semaines. Passé ce délai, les fèves sont ramenées pour être traitées. Par contre, les entrepôts brousses sont des entrepôts qui reçoivent les fèves de cacao qui proviennent des champs. Dans ces entrepôts, les fèves peuvent être stockées sur une longue durée. Ainsi trois (03) entrepôts cales et trois (03) entrepôts brousses ont été échantillonnés. L'échantillonnage effectué dans les trois entrepôts cales n'a donné aucun insecte. Cela s'expliquerait par le fait que les entrepôts et les fèves étaient traitées avec des pesticides. Par conséquent, la fouille et les appâts n'ont rien révélé. En ce qui concerne les trois (03) entrepôts brousses, des appâts alimentaires ont été placés à différents endroits et une fouille a été effectuée dans chacun de ces entrepôts. Au bout de 15 minutes, 30 minutes et 1 heure, les appâts ont été vérifiés.

Les trois (03) entrepôts brousses ont permis d'avoir des fourmis en petite quantité. Ce résultat s'expliquerait par le fait que les deux (02) premiers entrepôts étaient traités avec des pesticides (environ 1 traitement par tous les 3 à 4 mois), tandis que le troisième entrepôt recevait des traitements tous les 6 mois. Cela justifierait le faible nombre de population de fourmis obtenu dans les zones de stockages de fèves de cacao.

Les résultats montrent que la méthode d'échantillonnage détermine l'abondance et la diversité des fourmis collectées. Les appâts de courte durée (15 et 30 minutes) révèlent une abondance relativement modérée et dominée par *Tapinoma melanocephalum*, tandis que *Solenopsis globularia* et *Pheidole* sp.7 y sont faiblement représentées.

Plusieurs études ont déjà souligné que le temps d'exposition de l'appât affecte significativement le nombre d'individus recrutés, car les fourmis opportunistes détectent et exploitent rapidement la ressource, tandis que d'autres espèces plus discrètes ou plus lentes à recruter demeurent sous-échantillonnées (Bestelmeyer *et al.*, 2000; King & Porter, 2005).

Avec une durée d'exposition prolongée (1 heure), l'abondance des fourmis augmente nettement, en particulier pour *Tapinoma melanocephalum*, *Tapinoma* sp.2 et *Tapinoma* sp.3. Cette forte présence d'espèces du genre *Tapinoma* s'explique par leur capacité à mobiliser rapidement un grand nombre d'ouvrières autour de l'appât, phénomène déjà observé dans d'autres travaux portant sur l'échantillonnage de fourmis dans des milieux anthropisés (Agosti *et al.*, 2000). À l'inverse, des espèces comme *Tetramorium simillimum* et *Pheidole* sp.7 restent peu capturées, probablement en raison de stratégies de recherche alimentaire plus spécifiques ou d'une compétition défavorable face aux espèces dominantes sur les appâts (Romero *et al.*, 2010).

Contrairement aux méthodes d'appât, la collecte manuelle fait apparaître des abondances globalement plus élevées et plus équilibrées. Bien que *Tapinoma melanocephalum* demeure dominante, on note la présence d'espèces moins attirées par les appâts, comme *Monomorium pharaonis*, *Pheidole* sp.8 et *Solenopsis globularia*. Cette méthode est souvent considérée comme complémentaire aux appâts, puisqu'elle permet d'échantillonner des espèces à comportement plus discret ou qui ne se mobilisent pas rapidement autour d'une source de nourriture (King & Porter, 2005). De plus, la collecte manuelle peut explorer des micro-habitats précis (tronc, feuilles, fissures), offrant ainsi un aperçu plus complet de la diversité des fourmis présentes (Bestelmeyer *et al.*, 2000).

Influence et prédation des fourmis dans la regulation des insectes ravageurs

L'évaluation de l'impact des *Oecophylles* sur les attaques de ravageurs montre que les cacaoyers colonisés par les *Oecophylles* sont moins attaqués que les cacaoyers non colonisés. Cela se justifierait par le fait que cette espèce de fourmis est connue pour protéger activement les arbres qu'elle colonise en éliminant les ravageurs potentiels, comme les insectes nuisibles et les chenilles. Sa présence peut donc dissuader les ravageurs de s'attaquer aux cacaoyers. De plus, Les fourmis *Oecophylles* peuvent également s'engager dans des interactions prédateur-proie avec les ravageurs potentiels des cacaoyers. En chassant ou en tuant les ravageurs, elles réduisent leur nombre et leur capacité à causer des dommages aux arbres. Il est possible que les cacaoyers colonisés par ces fourmis produisent des signaux de défense qui rendent les arbres moins attractifs pour les ravageurs, ou qui renforcent leur résistance aux attaques. Les fourmis *Oecophylles* peuvent également protéger physiquement les cacaoyers en construisant des nids dans les arbres ou en les patrouillant activement, ce qui dissuade les ravageurs de s'installer ou de se nourrir. La présence de ces fourmis dans les cacaoyers peut également avoir des effets indirects sur l'écosystème environnant, en influençant la composition et l'abondance des autres espèces d'insectes qui pourraient potentiellement causer des dommages aux arbres. Dans l'ensemble, ces différents mécanismes peuvent contribuer à réduire les attaques de ravageurs sur les cacaoyers colonisés par les fourmis *Oecophylles* par rapport à ceux qui ne le sont pas. En effet, la présence de cette espèce dans les vergers de manguiers a permis de réduire de façon considérable les dégâts des mouches des fruits (Coulibaly, 2021). Au Bénin, il a été démontré que les fourmis *Oecophylles* améliorent la qualité et prolongent la conservation des mangues, selon Sinzogan *et al.* (2008). En outre, l'augmentation de la présence des fourmis *Oecophylla longinoda*, entraîne une diminution des populations de larves et adultes de *Coelaenomenodera lameensis* (Kouassi *et al.*, 2019). L'efficacité des fourmis *Oecophylles* dans la protection des cultures est comparable à celle des pesticides chimiques, comme mentionné par Offenberg (2015). *Oecophylla longinoda* est un agent de contrôle biologique efficace pour une gestion à long terme, similaire à l'insecticide Dudumida (Imidaclopride) dans la lutte contre *Sternochetus mangifera* et peut être utilisé dans les plantations de manguier, comme indiqué par Abdulla *et al.* (2016). De même, *Oecophylla smaragdina* a entraîné une augmentation du bénéfice net des producteurs dans les vergers de citron, comme rapporté par Offenberg *et al.* (2013).

L'abondance des attaques des fèves de cacao par les ténébrions obtenue au cours de l'essai 2 reste la plus élevée. Elle est suivie de celle de l'essai 3, puis de l'essai 1. Certains ravageurs des fèves de cacao, tels que les insectes peuvent avoir des cycles de vie qui se déroulent sur plusieurs jours. Ainsi, au fil du temps, ces ravageurs peuvent se multiplier et attaquer d'avantage de fèves de cacao. Les conditions environnementales, telles que l'humidité et la température, pourraient favoriser la croissance des ravageurs des fèves de cacao. Si ces conditions sont propices, le nombre d'attaques de fèves de cacao peut augmenter au fil des jours. Il est possible que la variabilité naturelle des populations de ténébrions dans les différents essais ait conduit à des niveaux d'attaques similaires. Bien que les conditions expérimentales aient été contrôlées autant que possible, il peut y avoir eu des variations mineures entre les essais qui ont influencé les niveaux d'attaques de ténébrions. De façon générale, la croissance du nombre de fèves de cacao attaquées au fil du temps peut être due à une combinaison de facteurs biologiques, environnementaux et de gestion qui favorisent la prolifération des ravageurs et leur impact sur les cultures. Dans l'exécution des expérimentations, il peut y avoir eu des facteurs subtils ou non mesurés qui ont contribué à des niveaux d'attaques de ténébrions légèrement différents entre les essais.

La diminution importante de la masse des fèves est un indicateur direct des effets destructeurs des ténébrions sur les fèves de cacao, ce qui est largement documenté dans la littérature. *Tribolium castaneum* est un insecte particulièrement nuisible pour les produits stockés, notamment les fèves de cacao, et il est reconnu pour causer une perte de masse significative due à l'alimentation et aux dommages qu'il inflige (Karel *et al.*, 2015). Dans le cadre de cette étude, la masse des fèves de cacao contenues dans des pochons d'un kilogramme a diminué de manière notable, passant de 1 kg à 695 g après six mois d'infestation. Une perte de 30,5 % de la masse initiale en seulement six mois reflète l'intensité de l'impact de l'infestation par *Tribolium castaneum*, un phénomène déjà observé dans des études antérieures (Jiang *et al.*, 2016). Les infestations prolongées par ce ténébrion pourrait entraîner une dégradation rapide de la qualité des fèves et une perte de valeur commerciale importante, en particulier dans des conditions de stockage non optimales (Solomon *et al.*, 2021). Lors de l'examen des sacs entiers de cacao (de 50 kg), une diminution de la masse de 12,5 kg après un an d'infestation, soit une perte de 25 %, a également été observée. Ce déclin pourrait être conséquent avec les effets connus de *Tribolium castaneum*, dont les larves et adultes consomment et perforent les fèves de cacao, accélérant leur dégradation.

Des recherches précédentes ont montré que des infestations à long terme peuvent entraîner des pertes de poids pouvant dépasser 20 % dans des conditions de stockage non traitées (Mohammad *et al.*, 2014). Il est également important de noter que l'évolution de la masse des fèves est négativement corrélée avec l'ampleur des dégâts causés par les ténébrions. Cette relation montre que plus l'infestation progresse, plus la perte de masse est importante, ce qui pourrait également altérer la qualité organoleptique des fèves et réduire leur potentiel pour la transformation industrielle (Ikwuegbu *et al.*, 2017).

Les résultats obtenus montrent une dynamique de capture des ténébrions en trois phases dans les pochons: une phase initiale d'augmentation lente (jours 1 à 10), une accélération progressive (jours 10 à 20) et une phase de croissance rapide suivie d'un plateau (jours 20 à 30). Cette tendance suggère plusieurs mécanismes écologiques et comportementaux influençant la capture des ténébrions.

La faible augmentation des captures au début de l'expérience pourrait être due à une phase d'adaptation des ténébrions à leur environnement ou à une faible efficacité initiale du piège. Il a été montré que certains insectes ravageurs présentent un temps d'exploration avant d'interagir avec des dispositifs de piégeage ou des prédateurs (Lima & Dill, 1990). De plus, la disponibilité de ressources alternatives pourrait limiter les interactions avec les pièges au début de l'expérience (Holling, 1959).

L'augmentation du nombre de captures après le 10^e jour suggère une hausse de l'activité des prédateurs ou une meilleure accessibilité des ténébrions aux pièges. Ce phénomène peut être expliqué par une réponse fonctionnelle des prédateurs, où l'augmentation du nombre de proies disponibles entraîne une intensification de la prédation (Solomon, 1949). Des études sur les fourmis prédatrices montrent qu'elles peuvent augmenter leur taux de capture après une période d'apprentissage et de repérage des proies (Dejean *et al.*, 1997).

La forte croissance des captures entre le 20^e et le 30^e jour peut résulter d'une saturation progressive du milieu en proies, favorisant la prédation. Toutefois, la stabilisation observée en fin d'expérience indique que le nombre de ténébrions disponibles diminue, ce qui entraîne une réduction des captures. Ce phénomène est cohérent avec les modèles de prédation dépendants de la densité des proies (Hassell, 1978).

Les trois essais montrent des tendances similaires, ce qui indique une bonne reproductibilité des résultats. Les légères variations observées peuvent être attribuées à des différences dans les microconditions environnementales ou dans la distribution initiale des ténébrions

(Turchin, 1998). Ces différences restent cependant faibles, suggérant que les conditions expérimentales ont eu un effet relativement constant sur la dynamique des captures.

L'évolution du nombre de ténébrions capturés dans les bacs suit une dynamique cohérente avec les interactions proies-prédateurs, où la prédation s'intensifie progressivement avant d'atteindre un plateau en raison de la réduction du nombre de proies disponibles (Hassell, 1978). Dès le premier jour, l'augmentation régulière des captures suggère une phase d'installation du dispositif expérimental et une adaptation progressive des prédateurs aux conditions de l'étude. L'essai 1 montre une capture plus rapide des ténébrions, ce qui pourrait indiquer une densité initiale plus élevée de proies ou une meilleure efficacité des prédateurs au départ (Turchin, 1998). L'apparition d'un plateau temporaire entre le 7^e et le 10^e jour dans cet essai pourrait être due à une diminution temporaire de la disponibilité des proies ou à une saturation des prédateurs (Murdoch *et al.*, 2003). L'essai 2, quant à lui, présente une montée plus lente, suggérant soit un taux de prédation plus faible, soit une distribution plus éparse des ténébrions. Ce phénomène pourrait être expliqué par la théorie de la réponse fonctionnelle des prédateurs, où la consommation de proies varie en fonction de leur densité (Holling, 1959). L'essai 3 se distingue par une progression plus linéaire suivie d'une accélération après le 10^e jour, ce qui pourrait indiquer une augmentation du taux de prédation à mesure que les prédateurs deviennent plus efficaces (Turchin, 1998). À partir du 10^e jour, la convergence des courbes indique que les taux de capture deviennent relativement homogènes, suggérant une stabilisation du système proie-prédateur. Cette tendance est conforme aux modèles écologiques décrivant l'équilibre dynamique entre la disponibilité des proies et l'efficacité de la prédation (Begon *et al.*, 2006). L'atteinte d'un nombre final oscillant entre 8 et 10 ténébrions capturés pourrait refléter une diminution de la densité de proies exploitables ou une saturation des prédateurs, empêchant une augmentation continue des captures (Hassell, 1978). Ces résultats mettent en évidence une prédation influencée par la disponibilité des proies, la réponse fonctionnelle des prédateurs et les conditions expérimentales. Ils confirment également l'importance d'une analyse temporelle détaillée pour comprendre les interactions écologiques au sein des systèmes proie-prédateur.

En ce qui concerne la prédation des fourmis sur les pyralidés, l'augmentation lente de la mortalité des larves, pourrait être due à une phase d'adaptation des fourmis à la présence des proies et au nouvel environnement expérimental. Cette période de latence est souvent observée chez les prédateurs qui doivent explorer leur habitat et ajuster leurs stratégies de capture (Holling, 1959). L'accélération de la mortalité des larves observée, traduit une

intensification de la prédation. Ce phénomène pourrait être expliqué par l'augmentation de la fréquence des interactions entre les fourmis et les larves, un processus bien documenté dans les rapports proie-prédateur (Murdoch *et al.*, 2003). L'essai 3 se caractérise par une mortalité plus élevée des larves dès cette phase, ce qui pourrait être attribué à une plus grande efficacité prédatrice ou à une densité plus importante de fourmis dans cet essai (Hassell, 1978).

La courbe tend à se stabiliser, ce qui suggérerait que la population de proies disponibles diminue progressivement, entraînant une réduction de la prédation. Ce ralentissement est cohérent avec le concept de "réponse fonctionnelle" des prédateurs, selon lequel la consommation de proies diminue lorsque leur densité baisse (Turchin, 1998).

Les trois essais suivent une dynamique similaire, indiquant une bonne reproductibilité de l'expérience. Toutefois, des variations sont observées. En effet, l'Essai 3 montre une prédation plus importante et plus régulière sur l'ensemble de la période, tandis que les Essais 1 et 2 présentent des fluctuations plus marquées, notamment entre J15 et J20. Cette variabilité pourrait être influencée par des différences comportementales des fourmis ou des facteurs environnementaux mineurs (Murdoch *et al.*, 2003).

En fin d'expérience, le nombre total de larves mortes est proche dans les trois essais, ce qui signifierait que la densité initiale de proies et la capacité prédatrice des fourmis atteignent un point d'équilibre. Ce résultat est conforme aux modèles théoriques des systèmes proie-prédateur qui prédisent une stabilisation des taux de prédation à long terme (Hassell, 1978).

**CONCLUSION,
RECOMMENDATIONS ET
PERSPECTIVES**

L'objectif de ce travail était de décrire les peuplements de fourmis associés aux vergers de cacaoyers dans la région du Haut-Sassandra afin d'identifier des espèces utiles pour la lutte biologique contre les ravageurs. Elle a été conduite autour de trois (03) objectifs spécifiques.

Le premier objectif spécifique était de déterminer les caractéristiques socio-entomologiques des vergers rencontrés dans quatre départements de la dite région. Les investigations montrent que les exploitations sont de type familial et ont une taille moyenne d'environ 3,24 ha. Il existe cinq principaux antécédents culturels avec une dominance de l'antécédent « Forêt ». Trois types d'insectes sont les plus préoccupants, ce sont les mirides, les foreurs de tiges et les punaises vertes. La répartition des insectes selon le gradient d'âge montre une plus grande abondance de foreurs de tiges sur les parcelles. La présence d'insectes en fonction des classes de pesticides montre que malgré l'utilisation des pesticides, les insectes ravageurs sont actifs dans les vergers.

Comme enseignement, ce diagnostic souligne la nécessité de renforcer la formation des producteurs aux bonnes pratiques culturales, de promouvoir la lutte intégrée (lutte mécanique, chimique et biologique) contre les ravageurs et d'encourager la transition vers des systèmes de production plus durables et résilients.

Le second objectif de l'étude a porté sur l'estimation de la diversité et de l'abondance des fourmis associées aux vergers de cacaoyers et aux entrepôts de stockages. L'échantillonnage réalisé a permis d'avoir accès à une part suffisante du peuplement de fourmis attendu dans l'ensemble des départements. Les richesses et diversités spécifiques sont globalement élevées et variables en fonction de l'âge des vergers. Pris individuellement, les départements de Daloa, Issia et Zoukougbeu ont des richesses supérieures au département de Vavoua. L'étude de la complémentarité ne révèle pas une modification importante de la composition spécifique du peuplement de fourmis en dépit des variations notées entre les nombres d'espèces. La comparaison des méthodes de collecte indique que les pièges fosses permettent de mieux estimer la biodiversité des fourmis associées aux cacaoyers par rapport aux appâts alimentaires et au battage. Les abondances la plus élevée a été obtenue dans les jeunes vergers (0-10 ans), suivis des vergers âgés (> 20 ans) et des vergers d'âge intermédiaire (11-20 ans). Six guildes fonctionnelles sont représentées par les peuplements de fourmis décrits, à savoir les Omnivores, les Dominants arboricoles, les Prédateurs, les Nomades, les Opportunistes et les Parasites.

Alors que les Omnivoires sont dominés par quatre espèces (*Tapinoma lugubre*, *Pheidole* sp.3, *Pheidole* sp.7 et *Pheidole* sp.8), les Dominants arboricoles se distinguent par la dominance de la fourmi *Oecophylla longinoda* connue ennemi naturel de plusieurs ravageurs de cultures. Les inventaires réalisés dans les entrepôts brousses ont mis en évidence 14 espèces parmi lesquelles l'on note la présence régulière de *Tapinoma melanocephalum*, espèce ayant des activités prédatrices sur d'autres insectes ravageurs tels que les pyralidae.

On retient à l'issue des travaux de cet objectif spécifique que la myrmécofaune est riche, malgré le caractère monoculturel des vergers de cacaoyers. La richesse spécifique des fourmis varie en fonction de l'âge des vergers sans causer une modification profonde de la physionomie des On note une abondance de la guildes fonctionnelle des Dominants arboricoles avec la présence importante de l'espèce prédatrice *Oecophylla longinoda* capable de minimiser l'action des ravageurs du cacaoyer. En conditions de stockage, la présence de *Tapinoma melanocephalum* est une alternative à la problématique des déprédateurs des fèves de cacao stockées.

Quant au dernier objectif spécifique, il a consisté à estimer l'influence des espèces prédatrices sur la dynamique des ravageurs du cacaoyer et des fèves de cacao. L'étude a porté sur les espèces *Oecophylla longinoda* et *Tapinoma melanocephalum* qui exercent des activités de prédation sur d'autres insectes considérés comme ravageurs dans la chaîne de production du cacao. Les résultats ont montré que les cacaoyers colonisés par les Oecophylles sont moins attaqués que les cacaoyers non colonisés. Le nombre de cabosses saines est quasiment le double du nombre de cabosses attaquées en présence des Oecophylles. Par contre, en absence des Oecophylles, le nombre de cabosses saines est inférieur au nombre moyen de cabosses attaquées. La comparaison de la masse des fèves de cacao avant (T_0) et après (T_1) l'infestation par les ténébrions en zone de stockage de fèves de cacao révèle que la masse initiale baisse considérablement au cours du temps. *Tapinoma melanocephalum* réduit considérablement la population des ténébrions et des larves de pyralidae dans les entrepôts, les empêchant ainsi d'atteindre le stade adulte.

L'enseignement à tirer de cet objectif est que la fourmi oecophylle est un acteur majeur de la lutte contre les ravageurs du cacaoyer. L'espèce *Tapinoma melanocephalum* peut contribuer à la conservation des fèves de cacao en stock en empêchant l'attaque des fèves par les ténébrions et l'infestation des entrepôts par les pyralidae, ces ravageurs étant capables d'entraîner une perte importante de poids des fèves de cacao.

En résumé, *Oecophylla longinoda* et *Tapinoma melanocephalum* se révèlent comme étant des espèces de fourmis à promouvoir dans la lutte biologique pour assurer une amélioration de la production de fèves de cacao dans notre pays.

Recommandations

À l'issue de cette étude, il apparaît opportun de formuler des recommandations en vue d'une agriculture durable et respectueuse de l'environnement. Pour ce faire, les structures en charge de l'encadrement des producteurs de cacao dans la zone d'étude et dans les autres zones de production doivent :

- promouvoir l'usage des fourmis comme moyens naturels pour lutter contre les insectes ravageurs dans les vergers de cacao ;
- sensibiliser les producteurs sur les avantages de la lutte biologique afin de réduire l'utilisation excessive de pesticides chimiques ;
- former les agriculteurs à reconnaître et protéger les insectes utiles, comme certaines espèces de fourmis, qui aident à contrôler naturellement les nuisibles ;
- encourager des méthodes agricoles plus saines, qui préservent la santé des producteurs, la biodiversité, et l'environnement tout en améliorant la durabilité des plantations de cacao.

Ces recommandations s'inscrivent dans une logique de durabilité et d'adaptation aux défis actuels de la production agricole en Afrique de l'Ouest.

Perspectives

Cette étude ouvre de nouvelles perspectives de recherche sur les fourmis en Côte d'Ivoire. Ainsi, nous proposons les actions de recherche suivantes afin de renforcer nos acquis :

- connaître davantage le comportement des fourmis prédatrices identifiées afin d'éviter toute perturbation de l'équilibre écologique dont elles seraient initiatrices à travers leur caractère invasif potentiel ;
- étudier la cohabitation entre hommes et fourmis afin de stimuler des initiatives d'éducation et de sensibilisation des populations pour une meilleure protection de la myrmécofaune;
- appliquer la lutte biologique en plantation et en conditions de stockage en utilisant les espèces identifiées dans cette étude de sorte à réduire l'utilisation des pesticides chimiques

traditionnelles, source de dépréciation des récoltes tant au niveau alimentaire que commercial ;

- poursuivre les investigations sur la biologie et l'écologie des fourmis *Oecophylla longinoda* et *Tapinoma melanocephalum* pour mieux connaître leurs dynamiques de sorte à garantir la durabilité de la lutte biologique dont elles seraient les agents principaux ;

- développer des stratégies de lutte complémentaire contre les ténébrions et autres ravageurs en zone de stockage à travers l'utilisation de pièges à insectes ou de traitements physiques et chimiques non remanents ;

- rechercher les mécanismes d'optimisation des conditions de stockage des fèves de cacao afin de réduire l'infestation des ravageurs et les pertes de poids conséquentes.

REFERENCES

- Abdulla N. R., Rwegasira G. M., Vagn Jensen K. M., Mwatawala M. W. & Offenber 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.
- Abe T. 1982. Ecological role of termites in a tropical rain forest. In: M.D. Breed, C.D. Michener, and H.E. Evans (editors), *The biology of social insects*: proceedings of the ninth congress of the International Union for the Study of Social Insects, August 1982, Boulder, Colorado, pp 71-75.
- Agosti D., Majer J. D., Alonso L. E. & Schultz T. R., 2000. Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity. *Smithsonian Institution Press*, Washington D C. 280 p.
- Agosti D. & Johnson N. (2005). Antbase. world wide web electronic publication. Disponible sur le site Antbas.org. <http://www.antbase.org>. (Consulté le 05/02/2021)
- Aka R. A., Neuba D. F. R., Coulibaly K., N'guessan K. F. & Kebe B. I. (2017). Inventaire et distribution des espèces de végétaux parasites et épiphytes du cacaoyer en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 31(2): 5010-5020.
- Aké-Assi L. (1984). Flore de la Côte d'Ivoire: Etude descriptive et biogéographique avec quelques notes ethnobotaniques. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences Naturelles, Faculté des Sciences et Techniques, Université Nationale, Abidjan, Côte d'Ivoire, 665 p.
- Alhoniemi E., Himberg J., Parhankangas J. & Vesanto J. (2000). Som toolbox. Disponible à <http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox> (consulté le 20/05/ 2023).
- 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.
- Allou K., Konan K. J. L., Issali A. E., Lekadou T. T., Zakra A. N. & N'Guessan A. (2010). Bien utiliser les fourmis rouges pour protéger les cocoteraies contre les punaises. Centre National De Recherche Agronomique, *Fiche cocotier*, 4 : 4 p.
- Alonso L. (2000). Ants as indicators of diversity. In: Agosti D., Majer J., Alonso L. & Schultz T. Ants. Standard methods for measuring and monitoring biodiversity. *Smithsonian Institution Press*, Washington DC, USA: 80-88.

- Alverson W. S., Whitlock B. A., Nyffeler R., Bayer C. & Baum D. A. (1999). Phylogeny of the core Malvales: Evidence from ndhF sequence data. *American Journal of Botany*, 86 : 1474-1486.
- Anderson, M. J., Ellingsen, K. E., & McArdle, B. H. (2011). Multivariate dispersion as a measure of beta diversity. *Ecology Letters*, 9(6) : 683-693.
- Anonyme (2008). Les polyphénols de cacao : des effets bénéfiques pour la santé cardiovasculaire. Sciences, Nutrition, Prévention et Santé, *Nutra News*, 16 p. <https://www.nutranews.org/data/pdf/numeros/fr/nutranews200802.pdf>
- APG IV (Angiosperm Phylogeny Group IV). (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1) :1-20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>
- Assiri A. A., Kacou E. A., Assi F. A., Ekra K. S., Dji K. F. & Couloud J. Y. (2009). Les caractéristiques agronomiques des vergers de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 2: 55-66.
- Assogba C. D. (2013). Les fourmis tisserandes pour lutter contre les mouches des fruits. Disponible sur le site www.scidev.net. (Consulté le 13/10/2019).
- Awatif K. O. Y. E. H. (2000). Taxonomic studies of ants' species collected in Khartoum state. Mémoire de master en Zoologie, Université de Khartoum, Soudan, 65 p.
- Azo'o J. R. N., Tchatat M., Mony R. & Dibong S. D. (2013). Parasitisme et ethnobotanique des Loranthaceae à Lokomo (Est-Cameroun). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 19: 2923-2932.
- Babacauh D. K. (1983) Structure des populations de *Phytophthora palmivora* (Butl.) Butl. emend. Bras. et Griff. parasite du Cacaoyer (*Theobroma cacao* L.), *Bulletin de la Société Botanique de France, Lettres Botaniques*, 130(1): 15-25.
- Babin R., Bisseleua D. H. B., Dibog L. & Lumaret P. J. (2008). Rearing method and life-table data for the cocoa mirid bug *Sahlbergella singularis* Haglund (Hemiptera: Miridae). *Journal of Applied Entomology*, 132: 366-374.

- Babin R. (2009). Contribution à l'amélioration de la lutte contre le miride du cacaoyer *Sahlbergella singularis* Hagl. (Hemiptera : Miridae). Influence des facteurs agroécologiques sur la dynamique des populations du ravageur. Thèse de Doctorat en Biologie des Populations et Ecologie, Université Montpellier III-Paul Valéry, Montpellier (France), 202 p.
- Barbault R. (1982). Ecologie des populations et des peuplements. Des théories aux faits. *Editions Masson*, Paris (France), 200 p.
- Barel M. (2012). Origine du cacao : les Mayas et les premiers chocolats. Futura, Tome III. Origine du cacao: les Mayas et les premiers chocolats. Disponible sur le site Dossier (futura-sciences.com). (Consulté le 05/02/2021).
- Baselga A. (2010). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 19(1) : 134-143.
- Begon M., Townsend C. R., & Harper J. L. (2006). Ecology: From Individuals to Ecosystems. *Blackwell Publishing*, 750 p.
- Bestelmeyer B. T., Agosti D., Alonso L., Brandão C. R. F., Brown L. W. Jr., Delabie J. H. C. & Silvestre R. (2000). Field techniques for the study of ground- dwelling ants. - In: Agosti D, Majer J, Alonso LE, Schultz TR. (Eds.), *Ants. Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Washington D.C.: *Smithsonian institution Press*. pp. 122-144.
- Blondel J. (1979). Biogéographie et écologie. In: *Revue d'Écologie (La Terre et La Vie)*, Masson, Paris (France), 173 p.
- Bolton B. (1974). A revision of the Ponerine ant genus *Plectroctena* F. Smith (Hymenoptera: Formicidae). *Bulletin of the British Museum (Natural History)*, Entomology, 30: 311 - 338.
- Bolton B., Gotwald W.H.J. & Leroux J.M. (1976). A new west African ant of the genus *Plectroctena* with ecological notes (Hymenoptera: Formicidae). *Annales de l'Université d'Abidjan, Série E (Ecologie)*, 9: 371-381.
- Bolton B. (1982). Afrotropical species of the Myrmicine ant genera *Cardiocondyla*, *Lepthothorax*, *Melissotarsus*, *Messor* and *Cataulacus* (Formicidae). *Bulletin of the British Museum (Natural History)*, Entomology, 45: 307 - 370.

- Bolton B. (1983). The Afrotropical dacetine ants (Formicidae). *Bulletin of the British Museum (Natural History)*, Entomology, 46: 267 - 415.
- Bolton B. (1986). A taxonomic and biological review of the tetramoriine ant genus *Rhoptromyrmex* (Hymenoptera: Formicidae). *Systematic Entomology*, 11: 1 - 17.
- Bolton B. (1987). A revision of the *Solenopsis* genus-group and revision of Afrotropical *Monomorium* Mayr (Hymenoptera). *Bulletin of the British Museum (Natural History)*, Entomology, 54: 263 - 452.
- Bolton B. (1994). Identification guide to ant genera of the world. *Harvard University Press*, Cambridge Massachusetts (USA), 222 p
- Bolton B. (1995). A New General Catalogue of the Ants of the world. *Harvard University Press*, Cambridge, Massachusetts (USA), 504 p.
- Bolton B. (2000). The ant tribe Dacetini. *Memoirs of the American Entomological Institute*, 65: 1 - 1028.
- Bolton B. & Brown W. (2002). *Loboponera* gen. n. and a review of the Afrotropical *Plectroctena* genus group (Hymenoptera: Formicidae). *Bulletin of the British Museum (Natural History)*, Entomology, 71: 1 - 18.
- Bolton B. (2003). Synopsis and classification of Formicidae. *Memoirs of the American Entomological Institute*, 71: 1-370.
- Bolton B. & Fisher B.L. (2011). Taxonomy of Afrotropical and West Palaearctic ants of the ponerine genus *Hypoponera* Santschi (Hymenoptera: Formicidae). *Zootaxa*, 2843: 1 - 118.
- Boni D. (1985). L'économie de plantation en Côte d'Ivoire forestière. Abidjan, Côte d'Ivoire. Nouvelles Editions Africaines, Abidjan, Côte d'Ivoire, 458 p.
- Boni D. (1970). Aspects géographiques du Binôme Café - Cacao dans l'économie ivoirienne. Nouvelles Editions Africaines, Abidjan, Côte d'Ivoire, 96 p.
- Braudeau J. (1969). Le cacaoyer. Ed. G.P. Maisonneuve et Larose, Paris (France), 304 p.
- Briese D. T. (1982). The effects of ants on the soil of semi-arid saltbush habitat. *Insects' sociaux*, 29: 375-382.

- Brosse, S., Dauba F., Oberdorff T. & Lek, S. (1999). Influence of some topographical variables on the spatial distribution of lake fish during summer stratification. *Archiv für Hydrobiologie*, 145: 359-371.
- Brosse S., Giraudel J.L. & Lek S. (2001). The temporal dynamic of fish populations assemblage and community structure. *Ecological Modelling*, 146: 159-166.
- Burle L. (1962). Le cacaoyer (Tome 2). Maisonneuve et Larose, Paris, France : 486-491.
- Campbell C. A. M. (1994). Homoptera associated with the ants *Crematogaster clariventris*, *Pheidole megacephala* and *Tetramorium aculeatum* (Hymenoptera: Formicidae) on cocoa in Ghana. *Bulletin of Entomological Research*, 84: 313 - 318.
- Cao Y. Williams D. D. & Larsen P. D. (2002) Comparison of ecological communities: The problem of sample representativeness. *Ecological Monographs*, 72: 313-318.
- Caratini R. (1968). La vie animale. Perruzo bordas encyclopédie, 36, 176 p.
- Chao A. & Jost L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: Standardizing samples by coverage, not by number of individuals. *Ecology*, 93(12): 2533-2547
- Chase J. M., Kraft N. J. B., Smith K. G., Vellend M., & Inouye B. D. (2011). Using null models to disentangle variation in community dissimilarity from variation in alpha-diversity. *Ecology*, 92(10) : 2450-2461.
- Colwell R. K. & Coddington J. A. (1994). Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 345(1311) : 101-118
- Colwell R. K. (2004). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 7.0, Persistent URL purl, Ocl. Org / estimates.
- Conseil Café Cacao (2015). Manuel technique de Cacaoculture durable. Edition de Février 2015, Abidjan, Côte d'Ivoire, 166 p.
- Conseil Régional du Haut-Sassandra. 2021. La Région du Haut-Sassandra. <https://www.regionhautsassandra.ci/la-region/le-haut-sassandra>. Consulté le 08 /05/2023.
- Coulibaly N. & N'guessan F. (1996). Entomologie. Cahier du stagiaire. IDEFOR DCC/ANADER, 76-83.

- Coulibaly A. (2021). 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 manguiers au nord de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat en entomologie agrocole, Unité de Formation et Recherche en Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire, 150 p.
- Coulibaly A. Minhobo M. Y., N'dépo O. R., N'goran A., Doga D. & Sanogo D. (2023). Comparaison de différentes techniques utilisées pour évaluer l'abondance des fourmis oecophylles (*Oecophylla longinoda*) dans les vergers manguiers du nord de la Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, 42 : 132-141.
- Cournault L. (2013). Les fourmis : une biodiversité méconnue. *Revue scientifique Bourgogne-Nature*, 18 : 233-242.
- Dejean A., Durand J. L., & Bolton B. (1997). Ants predation on termites: Nature and ecological implications. *Oikos*, 79(2), 204-208.
- Dembélé A., Coulibaly A., Traore S. K., Mamadou K., Silue N. & Abba A. T. (2009). Détermination du niveau de contamination de l'ochratoxine A (OTA) dans les fèves de cacao à l'exportation. *Tropicultura*, 27 : 26-30.
- Delabrazé P. & Lanier L. (1972). Contribution à la lutte chimique contre le gui (*Viscum album* L.). *European Journal Of Plant Pathology*, 2 : 95-103.
- Delobel A. & Tran M. (1993). Les Coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. Edition ORSTOM - CTA, Paris, France, 424 p.
- 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). These de Doctorat, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 128 p.
- Dieng M. M., Ndiaye A.B., Ba T. Ch. & Taylor B. (2016). Les fourmis (Hymenoptera, Formicidae) de l'enclos d'acclimatation de Katané de la réserve de faune du Ferlo nord (Sénégal). *International journal of biological and chemical sciences*, 11 p.

- Dieng M. M., Ndiaye A. B., Samb T., Sall D., Taylor B., Niang A. A., & Ba C. T. (2022). Diversité des fourmis (Hymenoptera, Formicidae) et éléments de biogéographie des principales espèces dans la zone minière de Sabodala (Sénégal oriental). *Bulletin de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire (IFAN) Cheikh Anta Diop* Tome LV série A, 1-2 : 73-97.
- Dillinger T. L., Barriga P., Escárcega S., Jimenez M., Lowe D. S. & Grivetti L. E. (2000). Food of the Gods: Cure for humanity? A cultural history of the medicinal and ritual use of chocolate. *Journal de Nutrition*, 130 : 2057-2072.
- Djioua O. & Sadoudi A. A. D. (2014). Les peuplements de fourmis (Hymenoptera : Formicidae) dans quelques milieux forestiers et agricoles de la kabylie. AFPP - dixième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture Montpellier, 11 p.
- Donzé A. (2011). Approche expérimentale et théorique de l'écologie des fourmis des bois. *Bulletin de la Société des Enseignants Neuchâtelois de Sciences*, 2 (40): 1-20.
- Dufour P. (2005). Le cacao en Côte d'Ivoire. Fiche de synthèse. Ambassade de France en Côte d'Ivoire - Mission Economique, 4 p.
- FAO (1999). Preventing mycotoxin contamination. *In*: Food nutrition and agriculture N° 23. Rome, Italie: Food Nutrition Division, FAO. 55 p.
- PNUD (2021). Carte du monde: production de cacao (fèves) par Etat. Disponible sur le site https://atlasocio.com/cartes/economie/agriculture/carte-monde-production-cacao-feves-en-2020_atlasocio.png. (Consulté le 20/06/2022)
- Freud E. H., Petithuguenin P. & Richard J. (2000). Les champs de cacao: un défi de compétitivité Afrique Asie. Editions Karthala et CIRAD, Paris (France), 207 p.
- Gidoïn C. (2013). Relations entre structure du peuplement végétal et bioagresseurs dans les agroforêts à cacaoyers. Application à trois bioagresseurs du cacaoyer : la moniliose au Costa Rica, la pourriture brune et les mirides au Cameroun. Thèse de Doctorat, Collège doctoral du Languedoc-Roussillon, Montpellier (France), 201 p.
- Giraudel J.L. & Lek S. 2001. A comparison of self-organizing map algorithm and some conventional statistical methods for ecological community ordination. *Ecological Modelling*, 146: 329-339.

- Gockowski J. & Sonwa D. (2011). Cocoa intensification scenarios and their predicted impact on CO₂ emissions, biodiversity conservation, and rural livelihoods in the Guinea Rain Forest of West Africa. *Environmental Management*, 48(2) : 307-321.
- Gotelli N. J. & Colwell R. K. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4(4), 379-391.
- Grangier J. (2008). Stabilité évolutive d'un mutualisme plante/fourmis obligatoire et spécifique. Thèse de Doctorat en Ecologie, Université de Toulouse (France), 149 p.
- Greenslade P. & Greenslade P. J. M. (1971). The use of baits and preservatives in pitfall traps. *Journal of the Australian Entomological Society*, 10: 253-260.
- Groc S. (2011). Communautés natives des fourmis de la litière en forêts naturelles de Guyane française et impact de la conversion forestière en plantations monospécifiques. Thèse de Doctorat en Sciences de la Vie, Faculté des Sciences Exactes et Naturelles, Université des Antilles et de la Guyane, France, 224 p.
- Gwinner J. Harnisch R. & Mück O. (1996). Manual on the prevention of post-harvest grain losses. GTZ, Eschborn, 338 p.
- Haines C. P. (1991). Insects and arachnids of tropical stored products: Their biology and identification. *Natural Resources Institute*, UK, 246 p.
- Hassell M. P. (1978). The dynamics of arthropod predator-prey systems. *Princeton University Press*, 237 p.
- Hodges R. J., Buszewski B., & Stathers T. E. (1996). Post-harvest losses in tropical agriculture: The role of storage pests. In: *Proceedings of the 6th International Working Conference on Stored-Product Protection*, Canberra, Australia. *CAB International*, Canberra, 1345-1352.
- Hölldobler B. & Wilson E. O. (1990). The ants. Harvard university press, Cambridge, Massachusett, USA, 732 p.
- Holling C. S. (1959). Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *The Canadian Entomologist*, 91(7), 385-398.

- Howard R., Garland A., J. & Seaman L. W. (1994). Diseases and Pests of Vegetable Crops in Canada. Société d'entomologie du Canada, chapitre 3 : 24-43. Disponible sur le site <https://phytopath.ca/wp-content/uploads/2014/10/mrclc/ch3-maladiesetravageurs.pdf>. (Consulté le 02/03/2021)
- ICCO (2008). Manual of the best known practices in cocoa production. Version 1 International cocoa organization. *The world cocoa conference*, 23 November 2012, Abidjan, Côte d'Ivoire, 60 p.
- ICCO (2014). Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. XL, No. 1, Cocoa year 2013/14. http://www.icco.org/about-us/internationalcocoaagreements/cat_view/30-relateddocuments/46-statistics-production.html. (Consulté le 02/07/2021).
- ICCO (2015). Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. XLI, No. 4, Cocoa year 2014/15. Westgate House, London, United Kingdom. http://www.icco.org/about-us/internationalcocoaagreements/cat_view/30-relateddocuments/46-statistics-production.html. (Consulté le 02/07/2021).
- ICCO (2023). Production of Cocoa Beans. *Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics*, Vol. XLIX, N°1, Cocoa year 2022 / 23, 1 p.
- Ikwuegbu O., Ajayi O., & Osigwe C. (2017). Economic losses in cacao farming due to pest infestation: A review. *Journal of Agricultural Economics*, 68(3), 456-463.
- Jagoret P., Michel-Dounias I., Snoeck D., Todem Ngnogué H., & Malézieux E. (2017). Diversification of cocoa farms in Central Cameroon: Tree species richness, cocoa production and farmers' revenues. *Agroforestry Systems*, 91(3), 577-593
- Jiang Z., Liu Y., Zhang H., & Wang F. (2016). Long-term effects of *Tribolium castaneum* on the mass and quality of cacao beans. *International Journal of Pest Management*, 62(4), 359-366.
- Judd, W. S., Campbell, C. S., Kellogg, E. A., Stevens, P. F., & Donoghue, M. J. (2002). Plant Systematics: A Phylogenetic Approach (2nd ed.). MA: Sinauer Associates. Sunderland, 576 p.
- Karel M., Wilson J., & Ahmed S. (2015). The impact of *Tribolium castaneum* infestation on stored cacao beans. *Journal of Stored Products Research*, 62, 12-18.

- Kébé B. I. (1999). Rapport Annuel d'Activité 1998, Programme Café- Cacao Cola, CNRA, Côte d'Ivoire, 39 p.
- Kebe I. B., Koffie K., N'guessan K. F., Assiri A. A., Adiko A. & Ake S. (2006). Le swollen shoot en Côte d'Ivoire : situation actuelle et perspectives. *Actes de la 15 ème conférence internationale sur la recherche cacaoyère*, 9-10 octobre, San José, Costa Ricca, pp 907-922.
- Kébé K., N'Guessan A. K., Coulibaly T. I. & Kobenan K. (2015). Diversité des mirides et dynamique des populations dans les plantations de cacaoyers du Sud de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 84 : 7688-7696.
- Kekeunou S., Messi J., Weise S. & Tindo M. (2006). Insect pests' incidence and variations due to forest zone of Southern Cameroon: farmer's perception and need for adopting an integrated pest management strategy. *African Journal of Biotechnology*, 7: 555-562.
- Kéli Z. J. B., Koné D., Kouadio Y. J., & Aka R. N. (2020). État des plantations de cacao et pratiques paysannes en Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirienne de Sciences et Technologie*, 35: 40-52.
- King J. R. & Porter S. D. (2005). Evaluation of sampling methods and species richness estimators for ants in upland ecosystems in Florida. *Environmental Entomology*, 34(6), 1566-1578.
- Kissi T. A. P., Akpessé A. A. M., Coulibaly T, Koua K. H. & Kouassi K. P. (2022). Attaques et dégâts de termites dans les cacaoyères de la zone Azaguié (Sud-Côte d'Ivoire). *Journal international de la science des insectes tropicaux*, 8 p.
- Koffié B. C. Y. & Kra K. S. (2013). La région du Haut-Sassandra dans la distribution des produits vivriers agricoles en Côte d'Ivoire. *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 2 : 95-103.
- Kohonen T. (1982). Self-organized formation of topologically correct features maps. *Biological Cybernetics*, 43: 59-69.
- Kohonen T. (1995). Self-Organizing Maps. Springer-Verlag, Series in Informatique Sciences, 30, Heindelberg, 362 p.
- Kohonen T. (2001). Self-Organizing Maps, 3rd édition. Springer-Verlag, Berlin, 501 p.

- Koné M. (2013). Diversité et abondance des fourmis terricoles suivant un gradient d'intensification des modes d'utilisation des terres dans une zone préforestière de Côte d'Ivoire (Lamto). Thèse de Doctorat en Entomologie, Unité de Formation et Recherche en Biosciences, Université Felix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 125 p.
- Koné M. & Ibo G. J. (2009). Les politiques foncières et l'accès des femmes à la terre en Côte d'Ivoire : cas d'Affalikro et Djangobo (Est) dans la région d'Abengourou et de Kalakala et Togognière (Nord) dans la région de Ferkessedougou. Rapport final, 46 p
- Kouadio K. A. & Kouassi K. A. (2020). Impact de la variation des paramètres climatiques sur la production du riz pluvial dans la région du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 31(3), 531–540.
- Kouakou L. M. M. (2015). Etude de la faune myrmécologique anthropophile de la ville d'Abidjan et du Parc National du Banco. Mémoire de Master en biodiversité et gestion durable des écosystèmes, Unité de Formation et Recherche en Science de la Nature, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte, d'Ivoire, 54 p.
- Kouamé N. N., N'guessan K. F., N'guessan A. H., N'guessan W. P., Tano Y. (2015). Variations saisonnières des populations de mirides du cacaoyer dans la région du Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire. *Journal des sciences animales et végétales*, 25(1): 3787-3798.
- Kouassi A. C., Hala N., Hala K. A. & Kouassi P. (2019). Impact des fourmis rouges *Oecophylla longinoda* Latreille (Hymenoptera : Formicidae) sur la dynamique des populations de *Coelaenomenodera lameensis* Berti & Mariau (Coleoptera : Chrysomelidae), principal ravageur du palmier à huile *Elaeis guineensis* JACQ. en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 41 (1): 6757-6766.
- Kouiakou B. J., Irié B. Z., N'goran K. E., Kouamé B. & Dick A. E. (2018). Caractérisation des insectes et des champignons infestant les fèves de cacao dans les principales zones de production en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 14 (33): 298-312.
- Krebs C. J. (1999). *Ecological methodology* (2nd ed.). Menlo Park, CA: Benjamin Cummings, 620 p
- Lachenaud P., Paulin D., Ducamp M. & Thevenin J. M. (2007). Twenty years of agronomic evaluation of wild cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) from French Guiana. *Scientia Horticulturae*, 113 (4) : 313-321.

- Lager B., Pitaval L. & Defretin A. (2015). La société des fourmis, TPE, disponible sur le site TPE : La société des fourmis (studylibfr.com), France, 31 p.
- Lanaud C., Motamayor J.C. & Sounigo O. (1999). Diversité génétique des plantes tropicales cultivées. CIRAD, Montpellier, France, 141-173.
- Lek S., Delacoste M., Baran P., Dimopoulos I., Lauga J. & Aulagnier S. (1996). Application of neural networks to modelling nonlinear relationships in ecology. *Ecological Modelling*, 90: 39-52.
- Lek S., Giraudel J. L. & Guégan J. F. (2000). Neuronal networks: algorithms and architectures for ecologists and evolutionary ecologists. In Lek S. & Guégan J. F. (Eds.): Artificial Neuronal Networks: Application to Ecology and Evolution. *Springer - Verlag*, Berlin: 3-27.
- Lenoir A. (2010). Les plantes et les fourmis. Conférence à Touraine Inter-âges, le 9 décembre 2010, France, 7 p.
- Lévieux J. (1983). The soil fauna of tropical savannas. IV: The ants. In: Boulière, F. (ed.). Tropical savannas. Elsevier, Amsterdam, 525-540.
- Lima S. L., & Dill L. M. (1990). Behavioral decisions made under the risk of predation: a review and prospectus. *Canadian Journal of Zoology*, 68(4), 619-640.
- Magurran A. E. (2004). Measuring Biological Diversity. *Blackwell publishing*, Publishing Course at Oxford University, CPC UK, 256 p.
- Majer, J. D. (1997). The use of pitfall traps for sampling ants - a critique. *Memoirs of the Museum of Victoria*, 56(2) : 323-329.
- McGill B. J., Enquist B. J., Weiher E. & Westoby M. (2006). Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology & Evolution*, 21(4): 178-185.
- Mohammad S., Raza A., & Khan F. (2014). Effect of *Tribolium castaneum* on cacao beans during storage and its impact on cocoa industry. *International Journal of Entomology*, 17(1), 22-30.
- Morin A. & Findlay S. (2001). Biodiversité : Tendances et processus. Biologie de la Conservation des espèces. Université d'Ottawa, Canada, 25 p.

- Mossu G. (1990). Le cacaoyer. Collection Le technicien d'agriculture tropicale. Edition Maisonneuve et Larose, Paris (France), 160 p.
- Motamayor J. C., Lachenaud P., da Silva e Mota J. W., Llor R., Kuhn D. N., Brown J. S., & Schnell R. J. (2008). Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L). *PLOS ONE*, 3(10), 8p. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003311>
- Murdoch W. W., Briggs C. J., & Nisbet R. M. (2003). Consumer-Resource Dynamics. *Princeton University Press*, 456 p.
- Myers N., Mittermeier R. A., Mittermeier C. G., da Fonseca G. A. B. & Kent J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858.
- Ngangue L. T. (2011). Détermination des caractéristiques physico chimiques des teneurs en polyphénols totaux des fèves de *Theobroma cacao* de la localité de Mbalmayo. Thèse de Doctorat, Département des Sciences Biologiques, Université de Yaoundé I, Cameroun, 81p.
- N'Guessan K. F. (2005). Variations saisonnières des populations de mirides du cacaoyer et leur impact sur la production en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 25(1), 3787-3798.
- N'Guessan K. F., Lachenaud Ph. and Eskes A. B. (2010). Antixenosis as a mechanism of cocoa resistance to the cocoa mirid, *Sahlbergella singularis* (Hemiptera: Miridae). *Journal of Applied Biosciences* 36: 2332-2339.
- N'Guessan A. H., N'Guessan K. F., Kouassi K. P., Kouamé N. N. & N'Guessan P. W. (2014). Dynamique des populations du foreur des tiges du cacaoyer, *Eulophonotus myrmeleon* Felder (Lépidoptère: Cossidae) dans la région du Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 83: 7606-7614.
- N'Guessan W. P., Gouamené C. N. & N'Guessan K. F. (2016). Diagnostic des parcelles de cacaoyers attaquées par les chenilles défoliatrices. Rapport de mission, CNRA Divo, Côte d'Ivoire, 15 p.
- Nguyen-Ban J. (1996). Lutte contre les maladies et ravageurs du cacaoyer. *Plantations, Recherche, Développement*, 3 (3) : 191-194.

- 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. (2015). Ants tools in sustainable agriculture. *Journal of Applied Ecology*, 52 (5): 1197-1205.
- Ollennu L. A. A. & Owusu G. K. (2002). Spread of cocoa swollen shoot virus to cacao (*Theobroma cacao*) plantings in Ghana. *Tropical Agriculture*, 79: 224-230.
- Ouadfel S. (2006). Contributions à la Segmentation d'images basées sur la résolution collective par colonies de fourmis artificielles. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Hadj Lakhdar de Batna, Algérie, 163 p.
- Park Y. S., Cereghino R., Compin A. & Lek S. (2003). Applications of artificial neuron networks for patterning and predicting aquatic insect species richness in running waters. *Ecological Modelling*, 160: 265-280.
- Passera L. & Aron S. (2005). Les Fourmis : Comportement, Organisation Sociale et Évolution, *Les Presses scientifiques du CNRC*, Ottawa, Canada, 441 p.
- Perfecto I. & Vandermeer J. (1996). Microclimatic changes and the indirect loss of ant diversity in a tropical agroecosystem. *Oecologia*, 108 (3): 577-582.
- Philpott S. M. & Armbrrecht I. (2006). Biodiversity in tropical agroforests and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function. *Ecological Entomology*, 31(4), 369-377.
- Pohé J., Pohé S., Steve W. & Okou S. F. F. (2013). L'huile des graines de neem, un fongicide alternatif à l'oxyde de cuivre dans la lutte contre la pourriture brune des cabosses de cacaoyer en Côte d'Ivoire. *Journal des applications. Biosciences*, 16(3): 2362-2368.
- Ponthieu R. (2018). Les fourmis et les machines : interfacier systèmes vivants et systèmes artificiels. Bioinformatique. Thèse de doctorat, Bioinformatique, Université Sorbonne Paris, France, 211 p.
- Prakash S., Huppertz T., Karvchuk O. & Deeth H. (2010). Ultra-high-temperature processing of chocolate flavoured milk. *Journal of Food Engineering*, 96: 179-184.

- Rhs-ci. (2021). La Région du Haut-Sassandra. Disponible sur le site officiel de la region du Haut Sassandra (rhs.ci). <https://rhs.ci/geo.php> (Consulté le 23/01/2022).
- Romero, H., Jaffe, K., & Cornejo, A. (2010). Resource location and recruitment by ants in a tropical agroecosystem. *Sociobiology*, 56(3), 683-694.
- Ruf F., & Zadi H. (1998). Cacao: de la forêt au marché. CIRAD. 206 p.
- Sangaré A., Koffi E., Akamou F. & Fall M. A. (2009). État des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Second rapport national, Côte d'Ivoire, 65 p.
- Siapo Y. M., Tahiri A., Ano E. J. & Diby Y. K. S. (2018). Évaluation des pratiques phytosanitaires paysannes dans les vergers de cacao en Côte d'Ivoire: cas du département de Daloa (Centre - ouest, Côte d'Ivoire). *Revue scientifique européenne*, 14(33): 267-280.
- Sib O., Soro S. & Tra Bi C. S. (2020). Attaques et dégâts de termites (Insectes : Isoptères) dans différents systèmes agroforestiers cacaoyers (Nawa, Côte d'Ivoire). *Journal des sciences animales et végétales*, 44(1): 7567-7576.
- Sib O. (2022). Effet de l'ombrage et de la fiente de poule sur la dynamique des termites et des fourmis dans les cacaoyères de la région de la Nawa (Sud-Ouest, Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat en Entomologie, Unité de Formation et Recherche en Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa (Côte d'Ivoire), 185 p.
- Simpson, E. H. (1949). Measurement of Diversity. *Nature*, (163) : 688.
- 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.
- Smith B. & Wilson J. B. (1996) A consumer's guide to evenness measures. *Oikos*, 76: 70-82.
- Solomon M. E. (1949). The natural control of animal populations. *Journal of Animal Ecology*, 18(1), 1-35.
- Solomon R., Ali M., & Smith D. (2021). Losses in stored product commodities due to *Tribolium castaneum*. *Food Quality and Safety*, 5(2), 93-102.

- Swanson, J. D., Carlson, J. E. & Guiltinan M. J. (2008). Comparative flower development in *Theobroma cacao* based on temporal morphological indicators. *International Journal Plants Sciences*, 169 (9): 1187-1199.
- Tah G. T., Aboua L. R., Tano D. K. C, Dembélé. A. & Seri-Kouassi B. P. (2016). Interaction insect-microorganisms producers of ochratoxin a infesting cocoa (*Theobroma cacao*) bean stocks from Tonkpi region, Western in Côte d'Ivoire. *Journal of Advances in Biology*, 9 (3): 1927-1936.
- Theunis L. (2008). Structure des assemblages de fourmis dans une forêt naturellement fragmentée du chaco humide Argentin. Thèse de Doctorat, Université Libre de Bruxelles, Belgique, 160 p.
- Thevenard-Puthod C. (2004). Le marché des barres chocolatées. Sciences Po-Paris, Paris (France), 38 p.
- Tra Bi C.S., Konaté S. & Tano Y. (2010). Diversité et abondance des termites (Insecta : Isoptera) dans un gradient d'âge de paillis de cabosses (Oumé, Côte d'Ivoire). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 6 (3): 685-699.
- Tra Bi C.S., Coulibaly T., Blei S.H., Souleymane K., Kouassi K.P. & Tano Y. (2019). Attacks of termites (Insecta: Isoptera) in cocoa farms (*Theobroma cacao* L.) in Oumé (Côte d'Ivoire). *International Journal of Current Research*, 11 (9): 6899-6905.
- Tra Bi C. S., Soro S., Kouakou L., Yeboue L., Yacouba H. T. B., Yeo K., Konate S. & Tano Y. (2020). Ants assemblage method according to an age gradient of mango orchards in Korhogo (Côte d'Ivoire). *Scientific reseach publishing, Advances in entomology*, 8: 56-71.
- Traoré A., Maximova S. N. & Guiltinan J. M. (2003). Micropropagation of *Theobroma Cacao* L. using somatic embryo-derived plants. *In Vitro Cellular Developmental Biology plant*, 39: 332-337.
- Turchin P. (1998). Quantitative Analysis of Movement: Measuring and Modeling Population Redistribution in Animals and Plants. *Sinauer Associates*, 396 p.

- Vos J. G. M., Ritchie B. J. & Flood J. (2003). A la découverte du cacao. CABI Bioscience. Guide pour la formation des facilitateurs, 24p.
https://www.worldcocoafoundation.org/wpcontent/uploads/files_mf/cabi_fr_1.pdf.
 (Consulté le 20/03/2020).
- WCF. (2012). Cocoa market update. Word Cocoa Foundation, March. Disponible sur le site
<https://www.worldcocoafoundation.org/wp-content/uploads/>. (Consulté le 05/07/2020).
www.antweb.org (Consulté le 08/02/2023 et le 10/03/2024).
- Way M. J., Cammell M. E., Bolton B. & Kanagaratnam P. (1989). Ants (Hymenoptera: Formicidae) as egg predators of coconut pests, especially in relation to biological control of the coconut caterpillar, *Opisina arenosella* Walker (Lepidoptera: Xyloryctidae), in Sri Lanka. *Bulletin of Entomological Research*, 79(3) : 417-423.
<https://doi.org/10.1017/S0007485300018204>
- Yao A. B., Anoh K. A., Kouadio Z. A., Kouassi K. L., Dje K. B., & Yao K. E. (2020). Impact de la variation des paramètres climatiques sur la production du riz pluvial dans la région du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 31 (3): 529-541.
- Yéo K. (2006). Dynamique spatiale et diversité des fourmis de la litière et du sol dans une mosaïque forêt-savane en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat en cotutelle en Ecologie, Université Paris VI - Pierre et Marie Curie / Université Nangui Abrogoua, Paris (France) et Abidjan (Côte d'Ivoire), 208 p.
- Yéo K., Delsinne T., Konate S., Alonso L. L., Aïdara D. & Peeters C. (2017). Diversity and distribution of ant assemblages above and below ground in a west African forest-savannah mosaic (Lamto, Côte d'Ivoire). *Insects sociaux*, 64(1) : 155-168.

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche d'enquête

Le.../.../....

FICHE D'ENQUETE

DEPARTEMENT DE DALOA	
1. Nom de village :.....	Champs N°
2. Variétés cultivées :.....	:.....
3. Age de la parcelle :.....	
4. Superficie de la parcelle :.....	
5. Nombre de pieds par surface	
I. Type de culture	
☐ Monoculture	☐ Culture associée
II. Origine des plants	
☐ Structure	☐ Particulier
III. Etat de la parcelle	
.....	
IV. Espèces présentes dans le sous-bois	
.....	
V. Antécédent cultural	
.....	
VI. Mode de traitement	
☐ Chimique	☐ Biologique
VII. Nature du produit utilisé	
.....	
VIII. Fréquence d'utilisation des produits	
.....	
IX. Fréquence de nettoyage de la parcelle	
.....	
X. Niveau d'étude de l'utilisateur du produit	
.....	
XI. Quantité de produit utilisée	
.....	
XII. Partie de l'arbre traitée	

○ Tronc	○ Feuillages
XIII. Problèmes rencontrés en plantation	
.....	
XIV. Présence ou absence des fourmis	
.....	
XV. Sur quel type de parcelle les rencontre-t-on ? jeune, intermédiaire ou âgée ?	
.....	
XVI. A quelle période les rencontre-t-on ?	
.....	

Annexe 2 : Composition spécifique des fourmis en fonction des départements

Sous-familles	Tribu	Espèces	Daloa	Issia	Vavoua	Zoukougbeu
Dolichoderinae						
	Tapinomini	<i>Tapinoma lugubre</i>	52	21	15	45
	Tapinomini	<i>Tapinoma luteum</i>	0	1	0	0
	Tapinomini	<i>Tapinoma melanocephalum</i>	6	3	1	6
	Tapinomini	<i>Tapinoma</i> sp.1	0	1	0	0
	Tapinomini	<i>Tapinoma</i> sp.2	1	1	0	0
	Tapinomini	<i>Technomyrmex andrei</i>	1	0	0	1
	Tapinomini	<i>Technomyrmex</i> sp.1	0	0	0	1
Dorylinae						
	Ecitonini	<i>Dorylus nigricans</i>	5	3	11	7
	Ecitonini	<i>Dorylus</i> sp.1	5	0	1	0
	Ecitonini	<i>Dorylus</i> sp.2	15	2	5	5
	Ecitonini	<i>Dorylus</i> sp.4	1	0	2	1
	Cerapachyini	<i>Parasyscia</i> sp.1	0	1	0	0
Formicinae						
	Camponotini	<i>Camponotus acvapimensis</i>	11	35	4	15
	Camponotini	<i>Camponotus cinctellus</i>	16	18	7	5
	Camponotini	<i>Camponotus maculatus</i>	9	5	3	13
	Camponotini	<i>Camponotus schoutedeni</i>	0	1	0	0
	Camponotini	<i>Camponotus vividus</i>	1	2	6	2
	Formicoxenini	<i>Lepisiota egregia</i>	15	2	10	26
	Formicoxenini	<i>Lepisiota</i> sp.1	2	9	2	3
	Formicoxenini	<i>Lepisiota</i> sp.2	1	0	0	1
	Formicoxenini	<i>Lepisiota</i> sp.3	0	1	0	0
	Lasiini	<i>Nylanderia boltoni</i>	6	8	4	3
	Lasiini	<i>Nylanderia lepida</i>	0	1	0	0
	Lasiini	<i>Nylanderia scintilla</i>	1	1	1	0
	Formicini	<i>Oecophylla longinoda</i>	115	116	132	137
	Formicoxenini	<i>Plagiolepis</i> sp.1	1	0	0	0
	Camponotini	<i>Polyrhachis concava</i>	0	1	1	4
Myrmicinae						
	Carebarini	<i>Carebara distincta</i>	4	0	7	2
	Carebarini	<i>Carebara thoraxica</i>	1	0	0	0
	Carebarini	<i>Carebara</i> sp.1	0	0	0	1
	Cataulacini	<i>Cataulacus erinaceus</i>	3	0	0	2
	Cataulacini	<i>Cataulacus traegaordhi</i>	0	0	0	1
	Crematogastrini	<i>Crematogaster</i> sp.1	27	13	1	7
	Crematogastrini	<i>Crematogaster</i> sp.2	17	12	8	17
	Crematogastrini	<i>Crematogaster</i> sp.3	26	0	1	2
	Crematogastrini	<i>Crematogaster</i> sp.4	0	0	0	1
	Crematogastrini	<i>Crematogaster</i> sp.5	5	1	1	1
	Crematogastrini	<i>Crematogaster</i> sp.6	0	1	0	1
	Crematogastrini	<i>Crematogaster</i> sp.7	0	1	2	0
	Formicoxenini	<i>Leptothorax</i> sp.1	0	0	0	1
	Solenopsidini	<i>Monomorium afrum</i>	12	2	2	2

	Solenopsidini	<i>Monomorium bicolor</i>	0	2	8	25
	Solenopsidini	<i>Monomorium exigum</i>	8	1	0	0
	Solenopsidini	<i>Monomorium floricola</i>	4	1	10	5
	Solenopsidini	<i>Monomorium inquietum</i>	0	0	0	0
	Solenopsidini	<i>Monomorium occidentale</i>	7	2	0	0
	Solenopsidini	<i>Monomorium pharaonis</i>	0	2	4	1
	Solenopsidini	<i>Monomorium</i> sp.1	0	0	0	0
	Solenopsidini	<i>Monomorium</i> sp.2	19	1	0	0
	Solenopsidini	<i>Monomorium</i> sp.3	1	0	0	0
	Solenopsidini	<i>Monomorium</i> sp.5	35	0	1	2
	Pheidolini	<i>Pheidole</i> sp.10	5	5	5	3
	Pheidolini	<i>Pheidole</i> sp.12	0	1	0	5
	Pheidolini	<i>Pheidole</i> sp.3	8	34	51	56
	Pheidolini	<i>Pheidole</i> sp.4	6	24	0	2
	Pheidolini	<i>Pheidole</i> sp.6	19	14	2	22
	Pheidolini	<i>Pheidole</i> sp.7	63	46	27	65
	Pheidolini	<i>Pheidole</i> sp.8	75	51	54	100
	Dacetini	<i>Strumigenys</i> sp.1	0	0	1	0
	Tetramoriini	<i>Tetramorium aculeatum</i>	4	2	0	0
	Tetramoriini	<i>Tetramorium anxium</i>	1	1	0	2
	Tetramoriini	<i>Tetramorium bicarinatum</i>	0	0	1	0
	Tetramoriini	<i>Tetramorium caespitum</i>	0	0	3	0
	Tetramoriini	<i>Tetramorium caldarium</i>	0	0	0	2
	Tetramoriini	<i>Tetramorium rheticum</i>	0	0	2	4
	Tetramoriini	<i>Tetramorium sericeiventris</i>	0	2	1	1
	Tetramoriini	<i>Tetramorium simillimum</i>	1	0	3	4
	Tetramoriini	<i>Tetramorium sepositum</i>	0	1	0	0
	Tetramoriini	<i>Tetramorium versiculum</i>	12	1	5	6
	Tetramoriini	<i>Tetramorium zambesium</i>	0	1	0	0
Ponerinae						
	Ponerini	<i>Bothroponera sorore</i>	0	1	0	0
	Ponerini	<i>Hypoponera</i> sp.1	0	1	0	0
	Ponerini	<i>Leptogenys occidentalis</i>	0	0	0	0
	Ponerini	<i>Leptogenys</i> sp.1	0	1	0	1
	Ponerini	<i>Mesoponera caffraria</i>	4	15	7	11
	Odontomachini	<i>Odontomachus troglodytes</i>	39	74	79	52
	Ponerini	<i>Paltothyreus tarsatus</i>	29	70	20	60
	Pseudomyrmecini	<i>Tetraponera</i> sp.1	0	0	0	3
	Pseudomyrmecini	<i>Tetraponera</i> sp.2	0	0	0	1
5	14	79				

Annexe 3: Répartition des espèces dans les différentes parcelles en fonction des départements et des classes d'âges

Espèces	Parcelles jeunes				Parcelles intermédiaires				Parcelles âgées			
	Daloa	Issia	Zoukougbeu	Vavoua	Daloa	Issia	zoukougbeu	vavoua	Daloa	Issia	zoukougbeu	vavoua
<i>Bothroponera sorore</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Camponotus acvapimensis</i>	0	19	8	0	0	9	3	0	11	7	4	4
<i>Camponotus cinctellus</i>	8	7	2	0	0	5	2	0	8	6	1	7
<i>Camponotus maculatus</i>	7	2	2	1	1	3	5	2	1	0	6	0
<i>Camponotus schoutedeni</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Camponotus vividus</i>	1	2	0	0	0	0	1	1	0	0	1	5
<i>Carebara distincta</i>	1	0	2	1	3	0	0	3	0	0	0	3
<i>Carebara</i> sp.1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Carebara thoraxica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Cataulacus erinaceus</i>	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0
<i>Cataulacus traegaardhi</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Crematogaster</i> sp.1	9	5	2	0	7	6	4	1	11	2	1	0
<i>Crematogaster</i> sp.2	9	4	6	0	7	3	8	7	1	5	3	1
<i>Crematogaster</i> sp.3	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0	2	1
<i>Crematogaster</i> sp.4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Crematogaster sp.5	2	0	0	0	2	0	0	0	1	0	1	1
Crematogaster sp.6	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Crematogaster sp.7	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Dorylus nigricans</i>	5	0	1	0	0	0	4	8	0	3	2	3
Dorylus sp.1	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1
Dorylus sp.2	13	0	0	3	0	0	4	2	2	2	1	0
Dorylus sp.4	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Hypoponera sp.1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lepisiota egregia</i>	6	2	9	2	1	0	7	3	8	0	10	5
Lepisiota sp.1	0	9	0	2	0	0	3	0	2	0	0	0
Lepisiota sp.2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Lepisiota sp.3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Leptogenys occidentalis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Leptogenys sp.1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Leptothorax sp.1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Mesoponera cafraria</i>	0	9	3	3	0	6	2	2	4	0	6	2
<i>Monomorium afrum</i>	5	0	1	0	1	1	0	0	6	1	1	2
<i>Monomorium sp.2</i>	10	0	0	0	3	1	0	0	6	0	0	0
<i>Monomorium bicolor</i>	0	1	9	1	0	1	6	2	0	0	10	5
<i>Monomorium exigum</i>	3	0	0	0	1	1	0	0	4	0	0	0
<i>Monomorium</i>	4	1	1	4	0	0	0	1	0	0	4	5

floricola

<i>Monomorium inquietum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Monomorium occidentale</i>	3	1	0	0	0	1	0	0	4	0	0	0
<i>Monomorium pharaonis</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4
<i>Monomorium</i> sp.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Monomorium</i> sp.3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Monomorium</i> sp.5	11	0	1	0	5	0	1	1	19	0	0	0
<i>Nylanderia boltoni</i>	5	0	1	0	0	6	2	2	1	2	0	2
<i>Nylanderia lepida</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nylanderia scintilla</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Odonctomachus troglodytes</i>	13	24	14	39	4	25	10	21	22	25	28	19
<i>Oecophylla longinoda</i>	48	46	53	49	18	39	37	39	49	31	47	44
<i>Paltothyreus tarsatus</i>	16	33	18	8	7	24	25	7	6	13	17	5
<i>Parasyscia</i> sp.1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pheidole</i> sp.10	5	4	0	0	0	1	0	2	0	0	3	3
<i>Pheidole</i> sp.12	0	0	1	0	0	1	4	0	0	0	0	0
<i>Pheidole</i> sp.3	8	28	21	15	0	6	21	24	0	0	14	12
<i>Pheidole</i> sp.4	0	7	0	0	4	12	0	0	2	5	2	0
<i>Pheidole</i> sp.6	3	5	9	1	8	2	6	0	8	7	7	1

Pheidole sp.7	19	13	19	8	12	14	23	14	32	19	23	5
Pheidole sp.8	23	20	33	15	14	16	33	30	38	15	34	9
Plagiolepis sp.1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Polyrhachis concava</i>	0	0	2	0	0	1	1	0	0	0	1	1
Strumigenys sp.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Tapinoma lugubre</i>	16	7	25	1	10	9	11	7	26	5	9	7
<i>Tapinoma luteum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Tapinoma melanocephalum</i>	1	1	1	0	0	1	1	0	5	1	4	1
Tapinoma sp.1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Tapinoma sp.2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Technomyrmex andrei</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Technomyrmex sp.1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tetramorium aculeatum</i>	0	0	0	0	0	2	0	0	4	0	0	0
<i>Tetramorium anxium</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0
<i>Tetramorium bicarinatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Tetramorium caespitum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Tetramorium caldarium</i>	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tetramorium</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	1

<i>rhetidum</i>												
<i>Tetramorium sericeiveintre</i>	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Tetramorium simillimum</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	2	2
<i>Tetramorium sepositum</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Tetramorium versiculum</i>	2	0	2	1	4	1	1	1	6	0	3	3
<i>Tetramorium zambesium</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Tetraponera sp.1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Tetraponera sp.2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Total	265	259	256	156	113	206	231	183	321	151	259	172

Annexe 4: Composition spécifique en fonction du gradient d'âge

ESPÈCES	JEUNE	INTERMEDIAIRE	AGEE	TOTAL
<i>Bothroponera sorore</i>	0	1	0	1
<i>Camponotus acvapimensis</i>	27	12	26	65
<i>Camponotus cinctellus</i>	17	7	22	46
<i>Camponotus maculatus</i>	12	11	7	30
<i>Camponotus schoutedeni</i>	0	1	0	1
<i>Camponotus vividus</i>	3	2	6	11
<i>Carebara distincta</i>	4	6	3	13
<i>Carebara thoraxica</i>	1	0	0	1
<i>Carebara</i> sp.1	0	0	1	1
<i>Cataulacus erinaceus</i>	2	1	2	5
<i>Cataulacus traegaordhi</i>	0	1	0	1
<i>Crematogaster</i> sp.1	16	18	14	48
<i>Crematogaster</i> sp.2	19	25	10	54
<i>Crematogaster</i> sp.3	0	0	29	29
<i>Crematogaster</i> sp.4	0	1	0	1
<i>Crematogaster</i> sp.5	2	2	3	7
<i>Crematogaster</i> sp.6	1	1	0	2
<i>Crematogaster</i> sp.7	1	1	1	3
<i>Dorylus nigricans</i>	6	12	8	26
<i>Dorylus</i> sp.1	3	0	3	6
<i>Dorylus</i> sp.2	16	6	5	27
<i>Dorylus</i> sp.4	3	0	1	4
<i>Hypoponera</i> sp.1	1	0	0	1
<i>Lepisiota egregia</i>	19	11	23	53
<i>Lepisiota</i> sp.1	11	3	2	16
<i>Lepisiota</i> sp.2	1	0	1	2
<i>Lepisiota</i> sp.3	0	1	0	1
<i>Leptogenys occidentalis</i>	0	0	0	0

<i>Leptogenys</i> sp.1	0	1	1	2
<i>Leptothorax</i> sp.1	0	1	0	1
<i>Mesoponera cafferia</i>	15	10	12	37
<i>Monomorium afrum</i>	6	2	10	18
<i>Monomorium bicolor</i>	10	4	6	20
<i>Monomorium exigum</i>	11	9	15	35
<i>Monomorium floricola</i>	3	2	4	9
<i>Monomorium inquietum</i>	10	1	9	20
<i>Monomorium occidentale</i>	0	0	0	0
<i>Monomorium pharaonis</i>	4	1	4	9
<i>Monomorium</i> sp.1	1	0	6	7
<i>Monomorium</i> sp.2	0	1	0	0
<i>Monomorium</i> sp.3	1	0	0	1
<i>Monomorium</i> sp.5	12	7	19	38
<i>Nylanderia boltoni</i>	6	10	5	21
<i>Nylanderia lepida</i>	1	0	0	1
<i>Nylanderia scintilla</i>	1	0	2	3
<i>Odonctomachus troglodytes</i>	90	60	94	244
<i>Oecophylla longinoda</i>	196	133	171	500
<i>Paltothyreus tarsatus</i>	75	63	41	179
<i>Parasyscia</i> sp.1	1	0	0	1
<i>Pheidole</i> sp.10	9	3	6	18
<i>Pheidole</i> sp.12	1	5	0	6
<i>Pheidole</i> sp.3	72	51	26	149
<i>Pheidole</i> sp.4	7	16	9	32
<i>Pheidole</i> sp.6	18	16	23	57
<i>Pheidole</i> sp.7	59	63	79	201
<i>Pheidole</i> sp.8	91	93	96	280
<i>Plagiolepis</i> sp.1	1	0	0	1
<i>Polyrhachis concava</i>	2	2	2	6
<i>Strumigenys</i> sp.1	0	0	1	1

<i>Tapinoma lugubre</i>	49	37	47	133
<i>Tapinoma luteum</i>	0	0	1	1
<i>Tapinoma melanocephalum</i>	3	2	11	16
<i>Tapinoma</i> sp.1	0	1	0	1
<i>Tapinoma</i> sp.2	1	1	0	2
<i>Technomyrmex andrei</i>	0	1	1	2
<i>Technomyrmex</i> sp.1	1	0	0	1
<i>Tetramorium aculeatum</i>	0	2	4	6
<i>Tetramorium anxium</i>	1	0	3	4
<i>Tetramorium bicarinatum</i>	0	0	1	1
<i>Tetramorium caespitum</i>	0	0	3	3
<i>Tetramorium caldarium</i>	2	0	0	2
<i>Tetramorium rhetidum</i>	0	1	5	6
<i>Tetramorium sericeiveintre</i>	3	0	1	4
<i>Tetramorium simillimum</i>	1	2	5	8
<i>Tetramorium sepositum</i>	0	1	0	1
<i>Tetramorium versiculum</i>	5	7	12	24
<i>Tetramorium zambesium</i>	0	1	0	1
<i>Tetraponera</i> sp.1	2	0	1	3
<i>Tetraponera</i> sp.2	0	1	0	1
TOTAL	936	733	903	2572

PUBLICATION ISSUE DE LA THESE

ARTICLE 1



E-ISSN: 2320-7078

P-ISSN: 2349-6800

www.entomoljournal.com

JEZS 2023; 11(3): 42-48

© 2023 JEZS

Received: 27-04-2023

Accepted: 28-05-2023

Yacouba Hanna-Thérèse Bissiri
Université Jean, Lorougnon
Guédé, UFR Agroforesterie,
Laboratoire d'Amélioration et de
Production Agricole /
Entomologie Agricole, BP 150
Daloa, Côte d'Ivoire

Sib Ollo

Université Jean, Lorougnon
Guédé, UFR Environnement,
Laboratoire de Biodiversité et
Gestion Durable des Écosystèmes
Tropicaux, BP 150 Daloa, Côte
d'Ivoire

Kouakou Lombart M Maurice

Université Nangui Abrogoua,
Station d'écologie de Lamto,
UFR Sciences de la Nature,
Laboratoire d'Ecologie et de
Développement Durable, BP 28
N'Douci, Côte d'Ivoire

Soro Senan

Université Jean, Lorougnon
Guédé, UFR Agroforesterie,
Laboratoire d'Amélioration et de
Production Agricole /
Entomologie Agricole, BP 150
Daloa, Côte d'Ivoire

Yeo Kolo

Université Nangui Abrogoua,
Station d'écologie de Lamto,
UFR Sciences de la Nature,
Laboratoire d'Ecologie et de
Développement Durable, BP 28
N'Douci, Côte d'Ivoire

Corresponding Author:

Yacouba Hanna-Thérèse Bissiri
Université Jean, Lorougnon
Guédé, UFR Agroforesterie,
Laboratoire d'Amélioration et de
Production Agricole /
Entomologie Agricole, BP 150
Daloa, Côte d'Ivoire

Socio-entomological characterisation of cocoa orchards in the haut-Sassandra region (Côte d'Ivoire)

Yacouba Hanna-Thérèse Bissiri, Sib Ollo, Kouakou Lombart M Maurice, Soro Senan and Yeo Kolo

DOI: <https://doi.org/10.22271/j.ento.2023.v11.i3a.9203>

Abstract

Cocoa alone accounts for more than 46% of export earnings and employs more than two-thirds of the working population. Despite this social importance, the sustainability of the cocoa orchards in Côte d'Ivoire is compromised by several biotic constraints. The objective of this study is to determine the main pests of the plantations in the area of study, to examine the perception of farmers on the importance of these pests and to assess their knowledge in managing the threat. To this end, a survey was conducted among 360 cocoa farmers in the Haut-Sassandra region of Côte d'Ivoire. The study revealed that 96.67% of the farmers were men. The plantations are family farms with an average size of about 3.24 ha and cocoa farms established on five main types of previous crops, with a preponderance of "forest" previous crops. Three types of insects are of greater concern. These are mirids, stem borers and green bugs. The distribution of insects according to the age gradient shows an abundance of stem borers on the plots.

Keywords: Cocoa, orchard sustainability, pests

1. Introduction

Cocoa is one of the most profitable crops in the world ^[1]. More than 50 million people live from cocoa incomes in the world. In Africa, 70% of raw cocoa beans production market is owned by Côte d'Ivoire, Ghana, Nigeria and Cameroon. With a production of 2.225 million tons of raw cocoa beans for the 2020-2021 period, this commodity is the economic mainstay of Côte d'Ivoire current world leading production ^[2]. Indeed, cocoa represents more than 46% of export incomes and employs more than two-thirds of the working population ^[3, 4]. To produce such a large amount of beans, farmers exploit vast plots of cocoa farms in the southern half of the country. In this area, the movement of pioneer fronts still called "cocoa loop" took place from the Southeast to the Southwest through the Center. Apart from the large production areas, some southern regions of the country whose production varies from 3 to 7%, help to complete the national production ^[5]. Despite this important performance in cocoa production, the sustainability of the Ivorian orchards is threatened by many constraints, namely diseases, pest attacks, rodents and parasitic plants ^[6]. Generally, the main constraints to cocoa production in Côte d'Ivoire can be classified into two categories according to their origin. These are abiotic constraints characterized by fluctuations in market prices and the scarcity of available land, and biotic constraints marked by the action of diseases and insect pests of the cocoa tree ^[7]. Among these diseases, brown pod rot is the main disease affecting cocoa in Côte d'Ivoire ^[8]. There is also the swollen shoot virus (Badnavirus) and pathogenic fungi ^[9]. Swollen shoot is one of the most economically damaging viral diseases of cocoa with 30 to 40% of post-harvest losses ^[10]. Cocoa trees are also attacked by certain insects such as Hemiptera, Lepidoptera and Isoptera which cause production losses ^[11, 12, 13].

The Haut-Sassandra region, one of the main cocoa production areas in Côte d'Ivoire, is no exception to that key issue. Previous studies by N'Guessan *et al.* (2014) ^[14]; Kouamé *et al.* (2015) ^[15] and Siapo *et al.* (2018) ^[16] have reported the importance of pests in this region. In such a context, understanding the perception and knowledge that local farmers have of the various threats and the practices implemented to address them. The objective is to study the typology of producers, to determine the main insect pests of plantations in the study area and

to examine the perception that farmers have of the importance of these pests in order to formulate a good management strategy.

2. Methods

2.1. Study sites

This study was conducted in the Haut-Sassandra region, in the west-central part of Côte d'Ivoire, in the departments of Daloa, Vavoua, Issia and Zoukougbeu (fig. 1). This region

covers an area of 15,200 km². Climate is humid tropical type characterized by a long rainy season from mid-March to mid-July, a short rainy season from September to November. They alternate with a long dry season from December to mid-March and a short dry season from mid-July to August. Average annual precipitation is between 1200 mm and 1600 mm [17, 18, 19, 20]. The average annual temperature is 26 °C (SODEXAM)

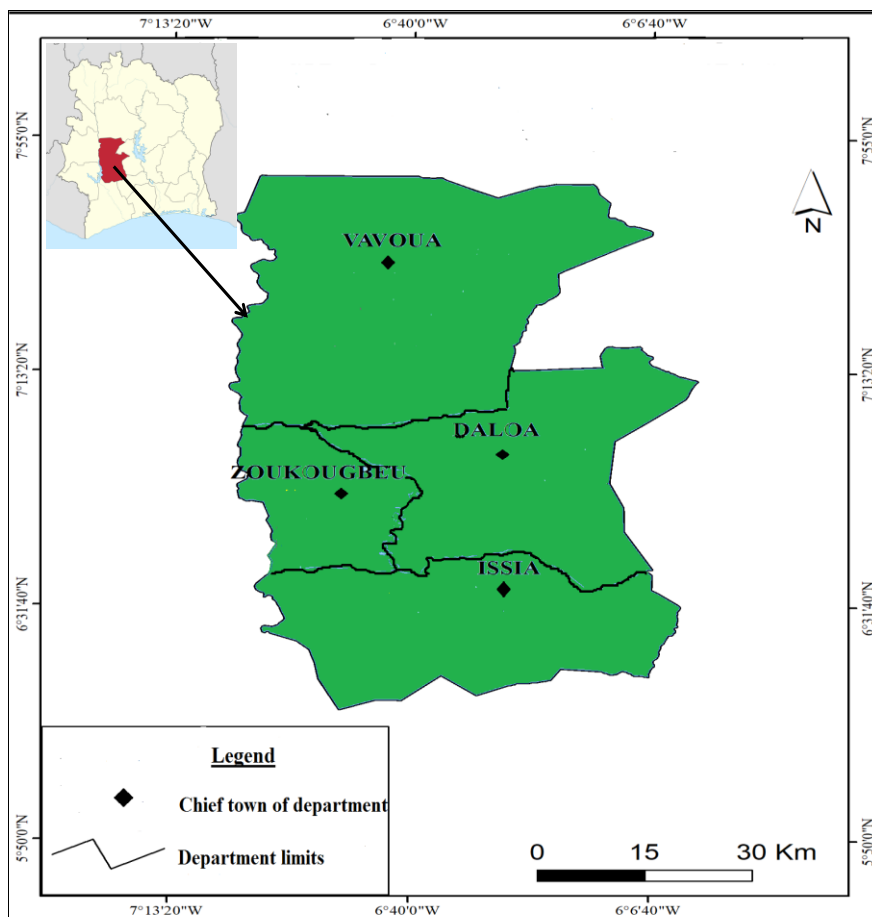


Fig 1: Study area

2.2 Sampling method

The survey was conducted from November 2020 to January 2021. A semi-structured questionnaire was used to interview cocoa farmers in the 4 departments [21]. The farmers were interviewed individually on their cocoa plantations. The questionnaire was addressed to cocoa farmers and aimed collecting information on producer's typology and cocoa farming in these areas. Questionnaire was divided into three main parts. The first part is based on the identification of cocoa farmers, i.e. their typology. The second deals with the previous crop, the age of the plots, the area and the plant material planted. As for the last part, it deals with the impact of pests and threat management, the level of maintenance of cocoa plantations, weeding, pesticide treatments and fertilization. Information was also collected on some pests, their damage and the means of control used. Based on the list of producers of the ECOOKIM Company, the sampling of cocoa farmers who were surveyed was carried out selectively. The survey was carried out considering a gradient of cocoa farm age (0-10 years, 11-20 years and more than 20 years) in each department.

2.3 Statistical analysis

All collected data was entered on the EXCEL spreadsheet. The data were then subjected to an analysis of variance using Statistica version 7.1 software in order to compare the average area of cocoa plantations per producer and also the distribution of insects according to age classes. The separation of the means was carried out by the Student-Newman-Keuls test at the 5% threshold. The distribution of cocoa plantations according to crop precedents was also calculated and represented graphically in order to determine the abundance of these.

3. Results

3.1 Producer's typology

A total of 360 cocoa farmers (90 farmers per department) were surveyed. The results show that 96.67% of the producers surveyed are men while women represent only 3.33%. We interviewed 89 men and 1 woman in each of the departments of Zoukougbeu and Issia, respectively (Table 1). In the department of Daloa, 83 men and 7 women were interviewed. As for the department of Vavoua, 87 men and 3 women were sampled. The 360 planters surveyed had about 1166.65 ha of cocoa trees.

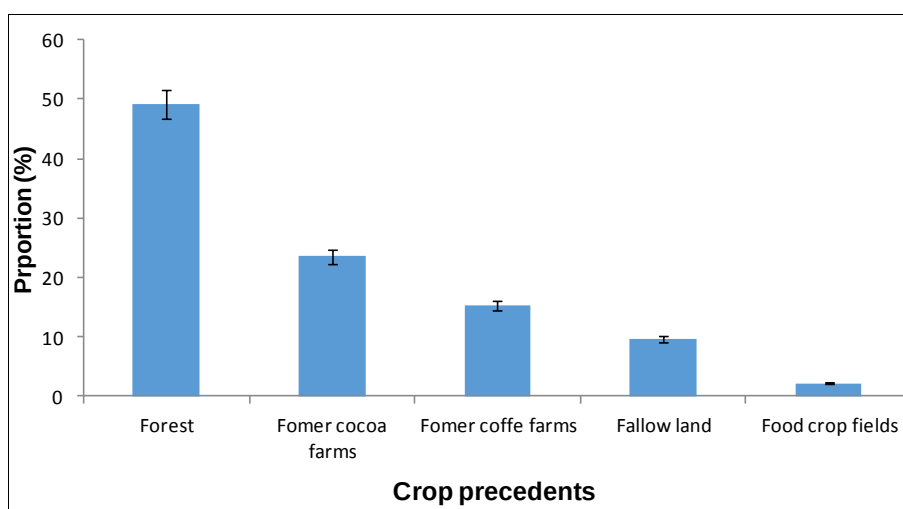
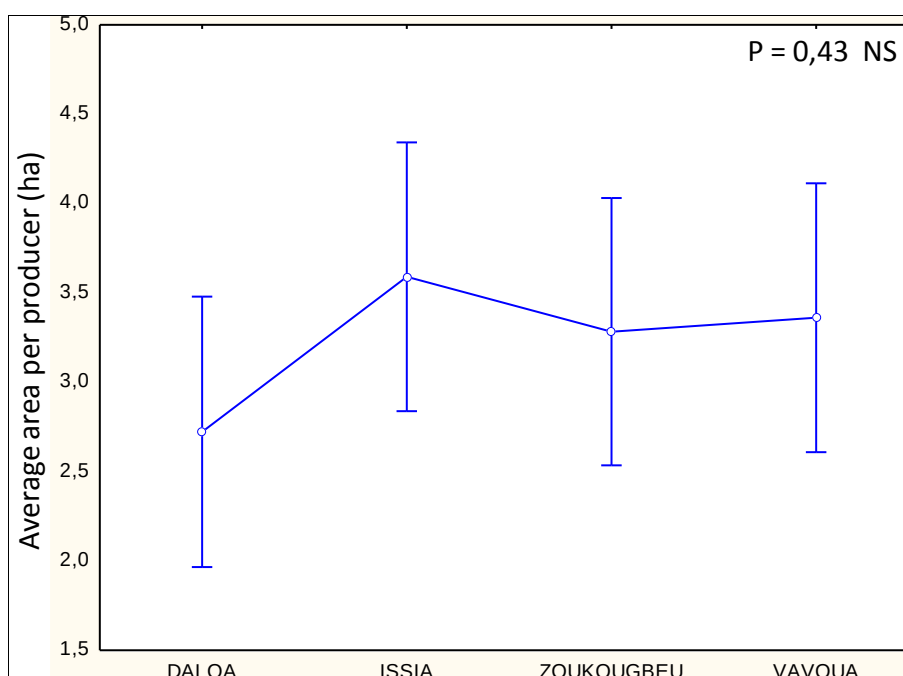
Table 1: Distribution by production area of producers and areas surveyed according to departments and sites

Production area	Department	Number of farmers		Total area (ha) of plots surveyed
		Men	Women	
Haut Sassandra	Daloa	83	7	242,3
	Issia	89	1	323,1
	Zoukougbeu	89	1	298,75
	Vavoua	87	3	302,5
Total		348	12	1166,65

3.2. Origin of cocoa plantations and orchard size

Cocoa farms are established on five main types of habitats (Fig. 2). Among these habitats, the previous “forest” crop represents 49.17% of the orchard. On the other hand, previous croplands such as former cocoa and coffee plantations, food crop fields and fallow land represent respectively 23.61%,

15.28%, 2.22% and 9.72%. The survey reveals that the total sizes of the plantations are comprised between 0.5 and 12 ha. The average sizes per producer are not significantly different between departments (Anova, $p = 0.43$) (Fig. 3). As all plantations are family-type farms, most cocoa farms covered an average of 3.24 ha per producer for the entire orchard.

**Fig 2:** Distribution of cocoa plantations according to crop precedents**Fig 3:** Average area of cocoa plantations per producer

3.3 Biological farm pests

In addition to swollen shoot disease and brown rot, farmers mentioned six main pests responsible for the major damage to their plantations (Fig. 4). Three types of insects were cited as the most concerning. These are the mirids (88.41% of famers

interviewed) that attack the fruits and twigs of the cocoa trees; stem borers (61.5% of farmers interviewed) digging deep galleries in the trunk and branches of the cocoa trees and the green bug (77% of farmers interviewed) that attacks the fruit of the cocoa trees. Termites, caterpillars and mealybugs are

responsible for some damage. The latter are considered to be of less concern by farmers in view of the damages they

caused in comparison to those mentioned above (less than 25% of farmers surveyed).

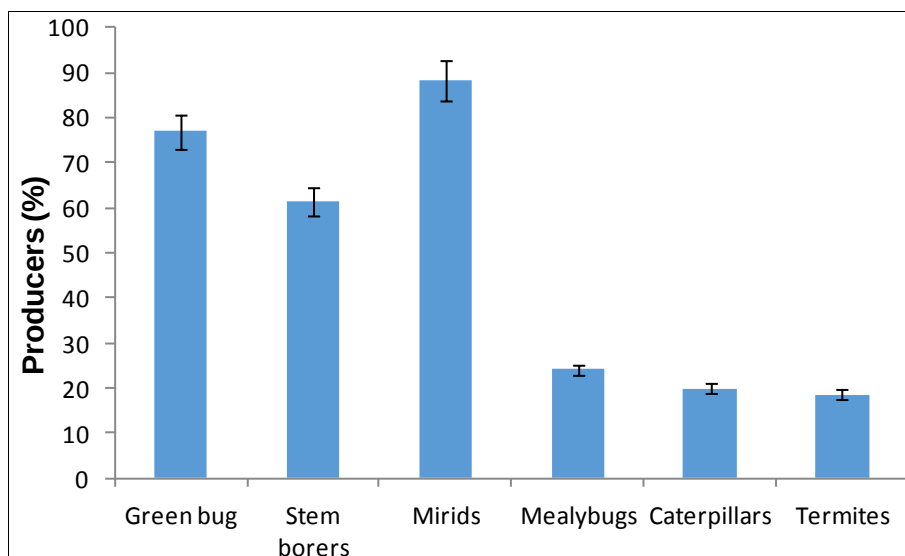


Fig 4: Abundance of the main plantation pests according to producers

3.4 Distribution of insects according to age gradient

The distribution of insects according to age classes shows a significant difference in insect abundance following age of cocoa orchards (Fig. 5). Abundance of stem borers and green bugs is higher for plots aged 0 and 10 years in comparison to abundance of termites, caterpillars, mealybugs and mirids which are less represented (Anova, $p = 0.0005$) with

compared to. Similarly, the same trend was observed for insect abundances in orchards aged from 11 to 20 years (Anova, $p = 0.0157$) and more than 20 years (Anova, $p < 0.0001$). The abundance of stem borers is higher in these plots followed by that of green bug plots. The lowest values of insect abundance were observed with termites, caterpillars, mealybugs and mirids.

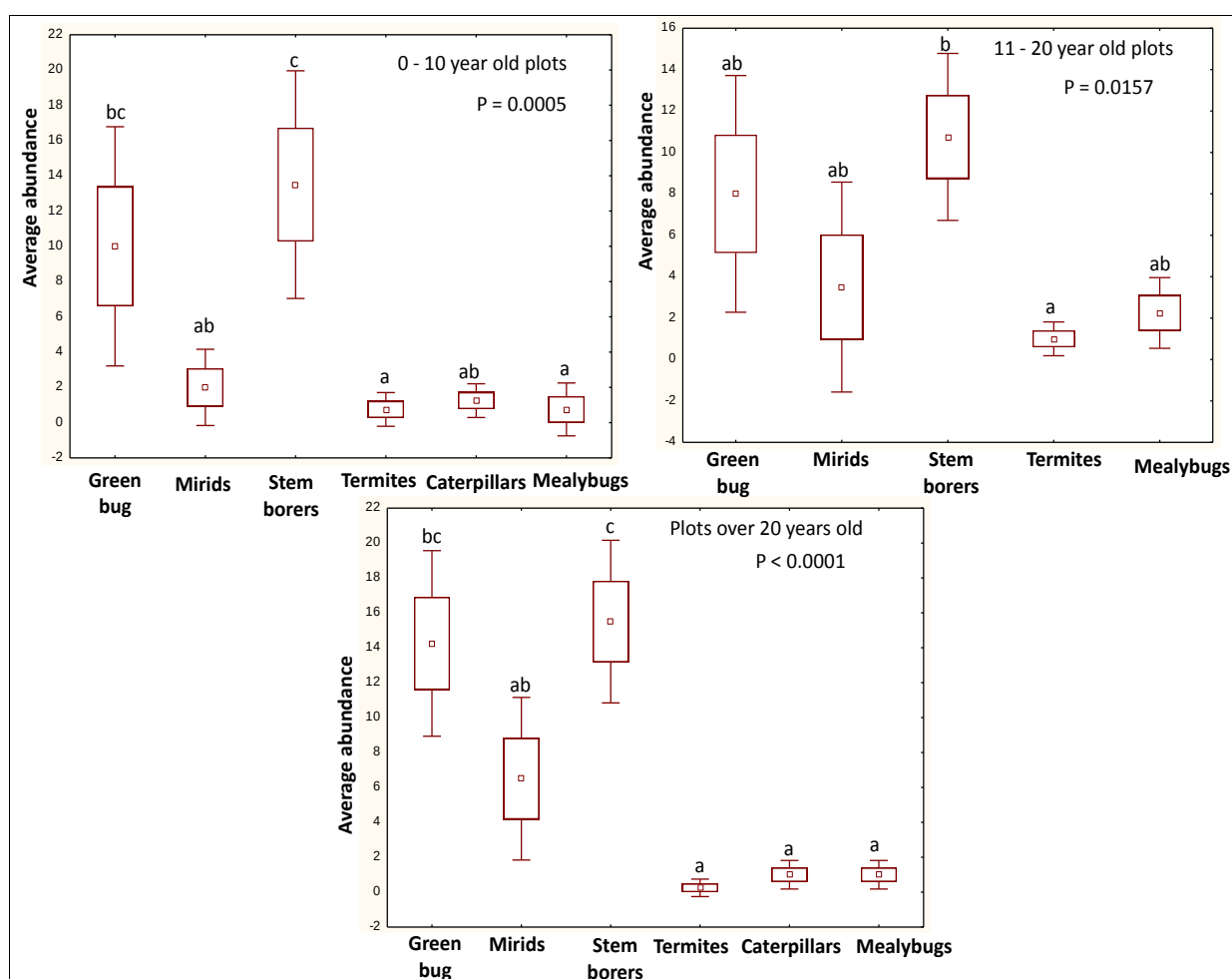


Fig 5: Distribution of insects according to age classes

(The average abundances with the same letters are not significantly different according to Newman-Keuls test)

4. Discussion

Globally, 96.67% of the farmers surveyed are men while women represent only 3.33%. This high rate of men compared to women could be due to that in most cases, the creation of perennial crop plantations in Ivory Coast is reserved for men who are supported by their wives after the establishment of the plantation. Women plantation owners usually inherited from a relative deceased. Some of this minority of women who owns cocoa plantations, have taken the initiative to create their own. Cocoa farms are established on five main types of crop precedents with a preponderance of "forest" precedent. These plantations are mainly installed on crop precedents by direct sowing at high density, using unimproved plant material. All plantations are family-type farms with a size comprised between 0.5 and 12 ha and an average size of 3.24 ha per farmer for the entire orchard in the study area. The results also confirm that in Côte d'Ivoire, cocoa farming remains an activity dominated by smallholders (Boni, 1985). Indeed, 80% of farmers own small farms of less than 10 ha. According to Assiri *et al.* (2009) [22], the average size of cocoa orchards per producer ranges from 3.5 ha in the 1970s to 6.3 ha in 2003. However, these sizes tend to decrease due to the abandonment and conversion of some old cocoa farms into plantations of other perennial crops such as oil palm, rubber, etc. [23]. The decrease in the size of orchards could be also explained by the slowing down of the dynamics of cocoa extension due to the depletion of the forest reserves [24, 25]. Apart from a handful of farmers growing the improved variety of the CNRA (Mercedes), most producers use the plant material "all coming". The abundance of the unimproved variety on farms highlights a low uptake by producers of the selected plant material. This low level of innovation adoption may be related in part to the low income level of producers, as well as the lack of information [22]. Siapo *et al.* (2018) [16] argued that the cost of seeds in the department of Daloa is 17 USD / ha for "Mercedes cocoa" while the producer pays nothing for the "all coming". The free "all coming" plant material would therefore be an important factor in the choice of plant material in the area of study. Some groups of insects have been cited as the most concerned with damage. These are mirids, stem borers and green bugs that attack the cocoa tree as well as the fruit. In addition, termites, caterpillars and mealybugs are also pointed out to cause important damages to cocoa orchards. This observation of the extent of pest damage on cocoa is confirmed by diagnoses made by several authors such as Pohe *et al.* (2013) [26]; N'Guessan *et al.* (2014) [14]; Tra Bi *et al.* (2010) [27]; Sib *et al.* (2020) [13] and Kissi *et al.* (2022) [28]. Indeed, stem drillers perforate the stems of the cocoa tree causing nearly 25.8% losses in Côte d'Ivoire [14]. The fungus of the genus *Phytophthora* attacks the pods of the cocoa tree causing attack rates of more than 40% in the absence of treatment in village plantations [27]. In Côte d'Ivoire, termites also attack cocoa trees and can cause plant death [13, 29]. Analysis of the distribution of insects according to age gradients shows a significant difference in insect abundance in all cocoa age classes. This difference in insect abundance could be related to the prevalence of some insects over others in the cocoa fields. Indeed, mirids, green bugs and stem borers are the most important in the three age classes. According to Kouamé *et al.* (2015) [15], mirids remain the main insect pests of cocoa

in Côte d'Ivoire and are a major concern for farmers. In addition, the cocoa tree supports a wide range of insect pests at all stages of its development. These include defoliating insects, stem and twig borers, sucking biters and root rodents [29, 30].

5. Conclusion

This study shows that cocoa production in the Hautassandra region is mainly carried out by men. The plantations are small family farms with an average size of about 3.24 ha and cocoa farms established on five main types of previous crops with a preponderance of the "forest" previous crop. Three types of insects are of greater concern. These are mirids, stem borers and green bugs. The distribution of insects according to the age gradient shows a higher abundance of stem borers on the plots.

6. Acknowledgements

The authors reiterate their thanks to the villages and their populations, especially the farmers, for their availability during the survey. The authors also thank the managers of the ECOOKIM group for their technical support.

7. References

1. ICCO. Manual of the best known practices in cocoa production. Version 1 International cocoa organization. The world cocoa conference, 23 November 2012, Abidjan, Côte d'Ivoire; c2008. p. 60.
2. CCC. Campagne de commercialisation de cacao 2020-2021. Côte d'Ivoire, premier producteur mondial de cacao; c2021.
3. Dembélé A, Coulibaly A, Traore SK, Mamadou K, Silué N, Abba Touré A. Détermination du niveau de contamination de l'ochratoxine A (OTA) dans les fèves de cacao à l'exportation. *Tropicultura*. 2009;27:26-30.
4. Yao SSB, Gislain DK, Akoua TMK, Jan B. Cocoa production and forest dynamics in Ivory Coast from 1985 to 2019. *Land*. 2020;9(12):524.
5. Sangaré A, Koffi E, Akamou F, Fall MA. Rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture; c2009. p. 65.
6. Kebe IB, Koffie K, N'guessan KF, Assiri AA, Adiko A, Ake S. Le swollen shoot en Côte d'Ivoire: situation actuelle et perspectives. In: Actes de la 15^{ème} conférence internationale sur la recherche cacaoyère, Costa Ricca; c2006 Oct 9-10. p. 907-922.
7. Freud EH, Petithuguenin P, et Richard J. Les champs de cacao: un défi de compétitivité Afrique - Asie. Karthala et CIRAD, Paris, France; c2000. p. 207.
8. Kébé BI. Rapport Annuel d'Activité 1998, Programme Café- Cacao Cola, CNRA, Côte d'Ivoire; c1999. p. 39.
9. Kouakou K, Kebe BI, Kouassi N, Anno AP, Aké S, Muller E. Impact de la maladie virale du swollen shoot du cacaoyer sur la production de cacao en milieu paysan à Bazré (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*. 2011;43:2947-2957.
10. ICCO. Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Cocoa year 2014/15. International Cocoa Organization (ICCO), Westgate House, London, United Kingdom. 2015, XLI No. 4.
11. Babin R, bisseleua DHB, Dibog L, Lumaret PJ. Rearing method and life-table data for the cocoa mirid bug *Sahlbergella singularis* Haglund (Hemiptera: Miridae). *Journal of Applied Entomology*. 2008, 132: 366-374.

12. Tra Bi CS, Coulibaly T, Blei SH, Souleymane K, Kouassi KP, Tano Y. Attacks of termites (Insecta: Isoptera) in cocoa farms (*Theobroma cacao* L.) in Oumé (Côte d'Ivoire). International Journal of Current Research. 2019;11(9):6899-6905.
13. Sib O, Soro S, Tra Bi CS. Attacks and damage of termites (Insecta: Isoptera) in different cocoa agroforestry systems (Nawa, Côte d'Ivoire). Journal of Animal & Plant Sciences. 2020;44(1):7567-7576
14. N'Guessan HA, N'Guessan KF, Kouassi KP, Kouamé NN, N'Guessan PW. Dynamique des populations du foreur de tiges du cacaoyer, *Eulophus myrmeleon* Felder (Lepidoptère: Cossidae) dans la région du Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire. Journal of applied Biosciences. 2014;83:7606-7614.
15. Kouamé NN, N'guessan KF, N'guessan AH, N'guessan WP, Tano Y. Variations saisonnières des populations de mirides du cacaoyer dans la région du Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire. Journal of Animal & Plant Sciences. 2015;25(1):3787-3798.
16. Siapo YM, Tahiri A, Ano EJ, Diby YKS. Evaluation des pratiques phytosanitaires paysannes dans les vergers de cacao en côte d'ivoire: cas du département de daloa (Centre - ouest, Côte d'Ivoire). European Scientific Journal. 2018;14(33):1857-7881.
17. Brou YT. Climat, mutations socio- économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'habilitation à Diriger des Recherches. Université des Sciences et Technologies de Lille, France; c2005. p. 212.
18. Kouamé B, Koné D, Yoro G. La pluviométrie en 2005 et 2007 dans la moitié sud de la Côte d'Ivoire. In: Le CNRA en 2006. Centre National de Recherche Agronomique, Abidjan, Côte d'Ivoire; c2007. p. 12-13.
19. Koffie BCY, Kra KS. La région du Haut-Sassandra dans la distribution des produits vivriers agricoles en Côte d'Ivoire. Institut de Géographie Tropical, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody / Abidjan / Côte d'Ivoire. Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement; c2013. p. 2-9.
20. Norbert NK, François KN, Hauverset AN, Pierre WN, Yao T. Variations saisonnières des populations de mirides du cacaoyer dans la région du Haut Sassandra en Côte d'Ivoire. Journal of Animal & Plant Sciences. 2015;1:3787-3798.
21. Loko YLE, Orobiyi A, Agre P, Dansi A, Tamò M, Roisin Y. Farmers' perception of termites in agriculture production and their indigenous utilization in Northwest Benin. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine. 2017;13:64.
22. Assiri AA, Yoro GR, Deheuvels O, Kebe BI, Keli ZJ, Adiko A, et al. Les caractéristiques agronomiques des vergers de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) en Côte d'Ivoire. Journal of Animal & Plant Sciences. 2009;2(1):55-66. ISSN 2071 - 7024.
23. Aguilar P, Paulin D, Kehou Y, N'kamleu G, Raillard A, Deheuvels O, et al. L'évolution des vergers de cacaoyers en Côte d'Ivoire entre 1995 et 2002. In: Actes de la 14ème conférence internationale sur la recherche cacaoyère. 18-23 octobre 2003. Accra, Ghana; c2003. p. 1167-1175.
24. Ruf F. Déterminants sociaux et économiques de la replantation. Oléagineux, Corps Gras, Lipides. 2000;7(2):189-196.
25. Ruf F, Allangba K. Décisions de plantation et replantation cacaoyères. Le cas des migrants Baoulés à Oumé (Côte d'Ivoire). In: R.Y Assamoi, K.Burger, D Nicolas, F. Ruf et P. de Vernou, eds. 2001. L'avenir des cultures pérennes. 5 - 9 novembre Yamoussoukro (Côte d'Ivoire): BNETD & CIRAD; c2001.
26. Pohe J, Pohe S, Steve W, Okou SFF. L'huile des graines de neem, un fongicide alternatif à l'oxyde de cuivre dans la lutte contre la pourriture brune des cabosses de cacaoyer en Côte d'Ivoire. Journal of Applied. Biosciences. 2013;16(3):2362-2368.
27. Tra Bi C.S, Konaté S, Tano Y. Diversité et abondance des termites (Insecta: Isoptera) dans un gradient d'âge de paillis de cabosses (Oumé-Côte d'Ivoire). Journal of Animal & Plant Sciences. 2010;6(3):685-699.
28. Kissi TAP, Akpessé AAM, Coulibaly T, Koua KH, Kouassi KP. Attaques et dégâts de termites dans les cacaoyères de la zone Azaguié (Sud-Côte d'Ivoire). International Journal of Tropical Insect Science; c2022. p. 8.
29. Braudeau J. Le cacaoyer. Paris, Maisonneuve et Larose; c1969. p. 289.
30. Lavabre EM. Insectes nuisibles des cultures tropicales. 1970. p. 276.

Annex: survey sheet

Department	
1. Village name:.....	
2. Cultivated varieties:.....	
3. Age of the plot:.....	
4. Plot area:.....	
5. Number of feet per surface	
I. Origin of plants	
○ Structure	○ Individual
II. State of plot	
.....	
III. Species present in the undergrowth	
.....	
IV. Cultural background	
.....	
V. Method of treatment	
○ Chemical	○ Organic
6.	
7. VI. Plot cleaning frequency	
8.	

9. VII. Educational level of the product user	
.....	
VIII. Part of the tree treated	
○ Trunk	○ Foliage
IX. Planting problems	
.....	
X. what type of plot do we meet them? young, middle or old?	
.....	
XI. When do we meet them?	
.....	

ARTICLE 2

Ant diversity (Hymenoptera: formicidae) in cocoa orchards following an age gradient in the haut-sassandra region (Côte d'Ivoire)

YACOUBA Hanna-Thérèse Bissiri ^{1, *}, KOUAKOU Lombart M. Maurice ^{2, 3}, SIB Ollo ¹, SORO Senan ¹ and YEO Kolo ^{2, 3}

¹ Jean Lorougnon Guédé University, UFR Agroforestry, Laboratory of Agricultural Improvement and Production / Agricultural Entomology, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.

² Nangui Abrogoua University, UFR Natural Sciences, Laboratory of Ecology and Sustainable Development, 02 BP 801 Abidjan 02 Côte d'Ivoire.

³ Ecological Research Centre (CRE) in Côte d'Ivoire.

World Journal of Advanced Research and Reviews, 2025, 25(02), 2100-2112

Publication history: Received on 31 December 2024; revised on 15 February 2025; accepted on 18 February 2025

Article DOI: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2025.25.2.0455>

Abstract

Cocoa farming is the main cause of deforestation in Côte d'Ivoire, with dramatic side-effects for ecosystems and biodiversity. These consequences also affect ants, which play a crucial role in ecosystems, contributing to soil bioturbation, the regulation of phytophagous insects and the accidental pollination of flowers. In this context, it is very important to understand the effects of cocoa-based cropping systems on ant diversity in the ecosystems of the Haut-Sassandra. Cultural practices have an impact on the ant population present in these environments. The aim of this study was to identify the ant species present in cocoa plantations and to determine the influence of the age gradient of cocoa orchards on ant communities. A total of 79 species were identified. They belonged to 25 genera and 5 sub-families in the plantations in the different localities. The Pitfall method gave the highest abundance in Daloa and Issia. As for Vavoua and Zoukougbeu, the baiting methods gave the highest abundances. The species *Oecophylla longinoda* dominated all the plots.

This approach provides essential information for the sustainable management of cocoa plantations, taking into account the complex ecological interactions that exist between crops, biodiversity and agricultural practices.

Keywords: Cocoa plantation; Ant; Age gradient; Diversity; Ecosystem impact

1. Introduction

Ants (Hymenoptera: Formicidae) are ubiquitous social insects that play a major ecological role in terrestrial ecosystems, particularly in agricultural habitats where they influence pest population dynamics, organic matter degradation and soil structure [1]. They also contribute to the accidental pollination of flowers [2]. Their diversity, both in terms of species composition and community structure, is influenced by a multitude of environmental factors, including the age of agricultural plantations [3]. In agricultural systems, particularly in perennial crops such as cocoa, management practices and plantation maturation can modulate ecological conditions, thus affecting the associated fauna, including ants [4]. Thus, because of ants' sensitivity to environmental disturbances, these insects are used as biological indicators for assessing the integrity of biodiversity [5] [6].

Côte d'Ivoire is the world's leading cocoa producer. Cocoa orchards spread over a wide variety of terrain and climatic conditions, particularly in the Haut-Sassandra region, which is a key production area [7]. Cocoa trees, grown in

* Corresponding author: YACOUBA Hanna-Thérèse Bissiri.

agroforestry or monoculture systems, have a direct impact on the biodiversity of the insect communities that reside there, including ants. The latter are often sensitive to variations in soil conditions, humidity and plant structure, which are modified as the plantation develops [8]. Thus, ant communities in cocoa orchards can be influenced by the age of the plantations which modifies plant density, the structure of the plant cover, as well as the availability of resources and ecological niches. In this context, understanding the relationships between the characteristics of cocoa orchards and ant diversity thereby contributing to better management of biodiversity in cocoa farming systems [9].

The aim of this study is to examine ant diversity in cocoa orchards following an of age gradient in the Haut-Sassandra region. Specifically to (1) identify the ant species present in cocoa plantations and (2) determine the influence of the age gradient of cocoa orchards on ant communities.

2. Materials and methods

2.1. Study site

The study was carried out in the Haut-Sassandra region, in central-western Côte d'Ivoire, in the departments of Daloa, Vavoua, Issia and Zoukougbeu (Figure 1) from March 2021 to November 2021. In each department, nine cocoa plantations were selected. A total of 36 cocoa farms were selected for the entire study. The plots were chosen according to an age gradient in each department. These were young plots (0-10 years), intermediate-age plots (11-20 years) and old plots (21 years and over). These three types of cocoa farm were represented in each department. Haut-Sassandra region covers an area of 15,200 km². The climate is humid tropical, with two rainy seasons and two dry seasons. Annual rainfall varies between 1,300 mm and 1,800 mm. The vegetation consists mainly of dense semi-deciduous rainforests and wooded savannahs. The average annual temperature is around 26°C.

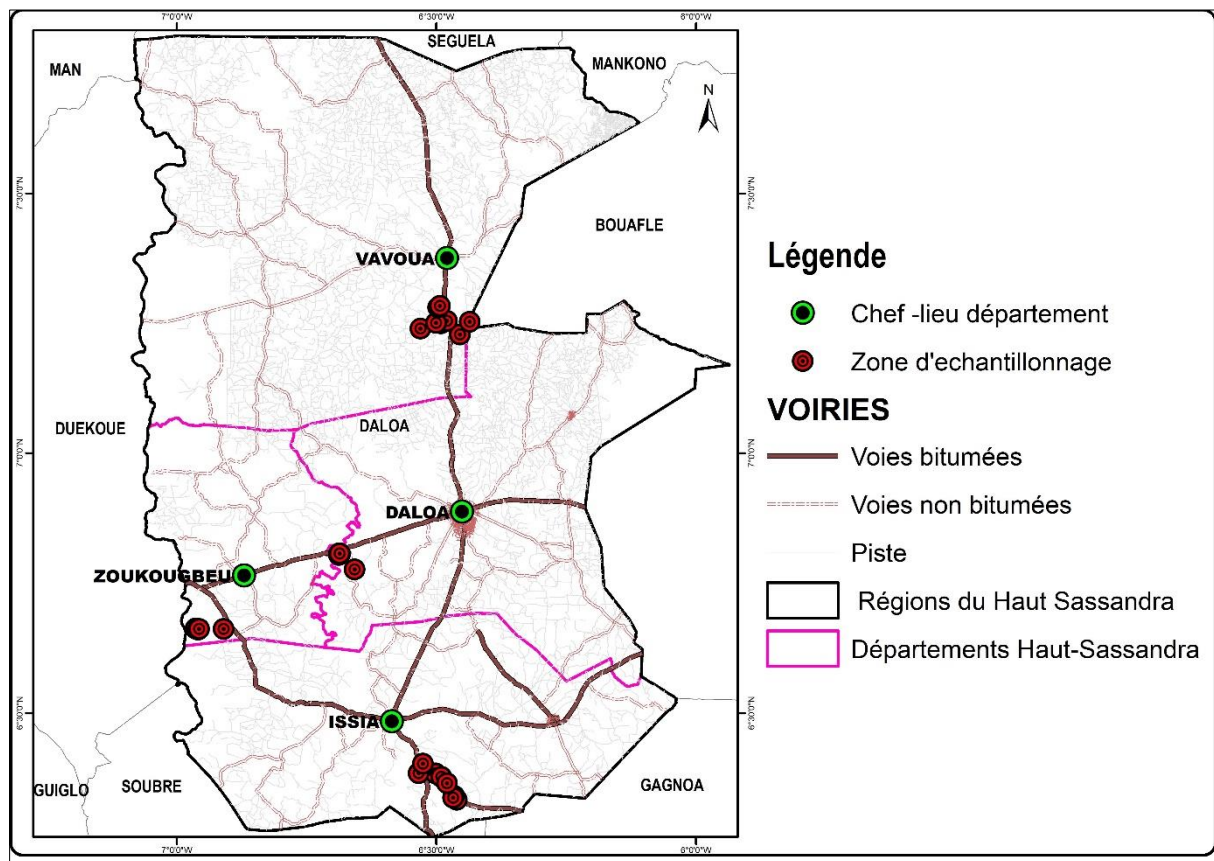


Figure 1 Study site

2.1.1. Sampling and identification

Ants were sampled along a 200 m long transect made up of 20 sections 10 m apart, around which pitfall traps, beating and food bait methods were applied.

The pitfall trap is a trap included in the ALL (Ants of the Leaf Litter) protocol. Containers commonly known as "beakers" of the same capacity (200 ml) were placed in the soil so that their upper rim was level with the soil surface. The cups were then filled to a quarter of their volume with a mixture of ethanol diluted to 70° and glycerin [10]. The beakers in the cups were then protected by tree leaves against any rain that might degrade the nature of the solution included. The Pitfall traps were recovered after 48 hours. The ants were then sorted and preserved in an Eppendoff tube containing 96° alcohol.

Threshing is a white cloth measuring one metre square used to collect fauna present in the canopy [11]. It consisted of tying four (04) rods around the tree to be sampled, so as to place them under its foliage (Figure 5c). The branches of the tree to be sampled were then vigorously shaken with a stick to make the insects fall onto the fabric below. The fallen ants were quickly collected using entomological forceps and preserved in an Eppendoff tube containing 96° alcohol.

Canned tuna (fatty) was chosen as the bait method. Tuna crumbs were placed at each section of the transect (Figure 5d). A total of 20 sampling points were set up. Samples were taken after 15 min, 30 min and 1 hour. The collected ants were preserved in eppendoff tubes containing 96°C alcohol.



Figure 2 Ant sampling method (a and b: pitfall trap; c: food bait; d: beating)

2.1.2. Data Analysis

Data collected was entered into an EXCEL spreadsheet. The data were then subjected to an analysis of variance (ANOVA) using Statistica version 7.1 software in order to assess the diversity of the different plots. R software was used to plot the abundances and frequencies of occurrence of the plots along the age gradient. Sampling efficiency was then measured using species accumulation curves and sampling coverage rate. These tools make it possible to compare species richness and composition between different habitats. Species accumulation curves represent species richness as a function of harvesting effort, making it possible to compare the methods used in each department using EstimateS 9.1.0 software. Species richness corresponds to the number of species identified in a given environment and is calculated using estimators such as Jackknife 1 and Chao 2. Absolute abundance measures the total number of individuals of a species, while relative abundance assesses the contribution of one species in relation to the others.

The Shannon index allowed to assess diversity by taking into account species richness and abundance. The equitability index measures the distribution of individuals between species, and Simpson's index assesses the probability of choosing two individuals of the same species at random.

Analysis of variance (ANOVA) was used to test the significance of differences between groups (for example, between departments). A post-hoc test is applied to differentiate these groups if necessary. Hierarchical ascending classification (HAC) was used to group similar samples according to species abundance and richness, creating a dendrogram that helps to visualise similarities between environments. These methods offer a detailed approach for assessing and comparing ecological diversity in different areas.

3. The results

3.1. Sampling efficiency

Evaluation of the sampling efficiency revealed that more than 71% of the expected myrmecofauna was collected in the various localities (Table I). The sampling efficiency of ants in all departments varied from 71.61% (Issia) to 80.29% (Daloa) in the type of land cover studied, an average coverage rate of 76.47%. This rate indicates that the sampling method used was very effective in all departments.

The comparison between the accumulation curves with an asymptotic trend obtained from the Chao 2 estimator and the observed species richness shows a good estimate of the species richness of the ants in the different localities (Figure 6). The number of ant species would not change significantly even if additional transects had been sampled, as the curves have an asymptotic trend (Figure 7).

Table 1 Sampling richness and coverage at the various study sites

	Daloa	Issia	Zoukougbeu	Vavoua
Number of samples	540	540	540	540
Observed specific richness (Sobs)	51	51	52	42
Expected specific richness (Chao 2)	63,52	71,22	59,22	52,95
Sample coverage rate (%)	80,29	71,61	78,27	75,7
Number of unique species	6	13	7	2

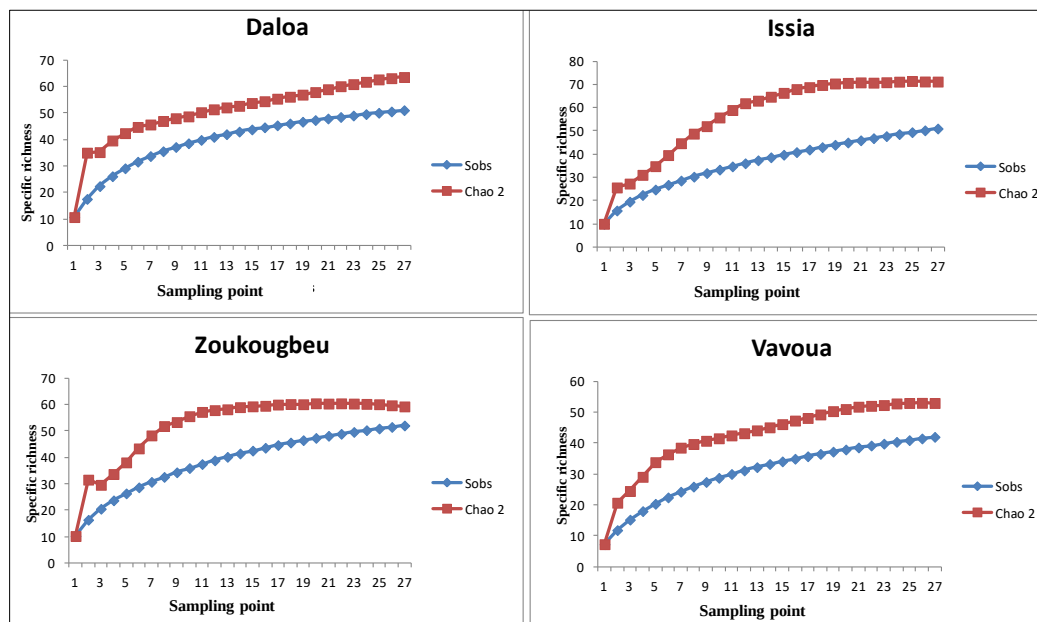


Figure 3 Ant species accumulation curve as a function of sampling effort in the various departments

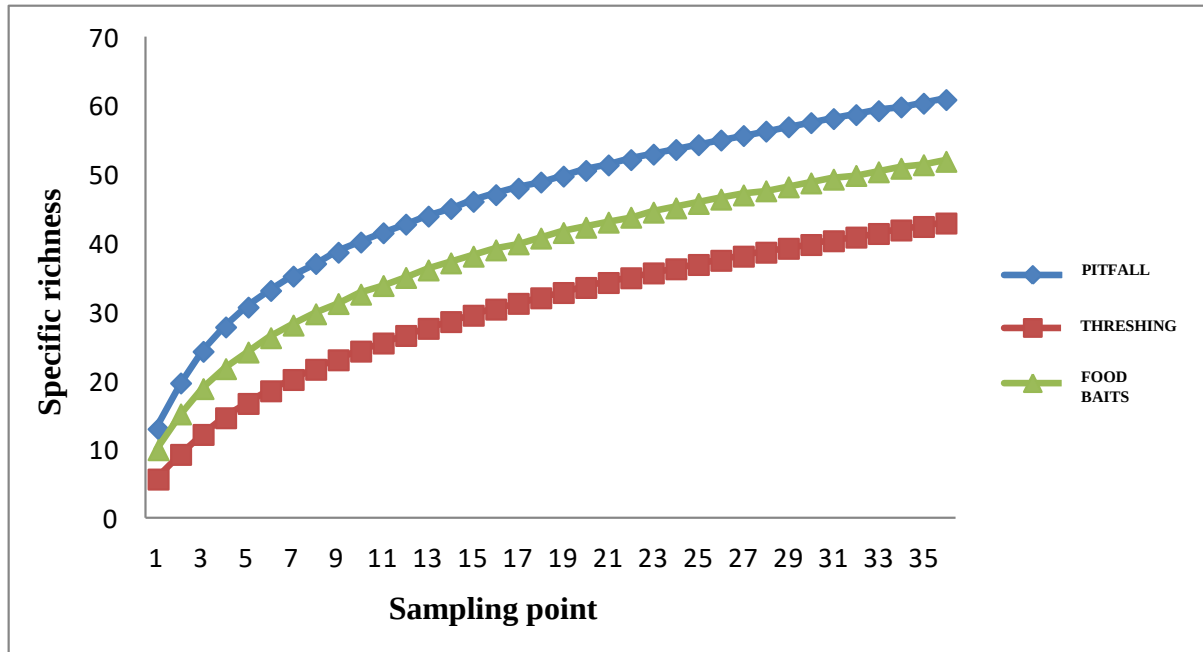


Figure 4 Species accumulation curves as a function of sampling method

3.2. Specific composition of ants

A total of 79 ant species were collected overall the sampling campaign. They belong to 25 genera and 5 sub-families (Dolichoderinae, Dorylinae, Formicinae, Myrmicinae and Ponerinae). (Table II). The department of Zoukougbeu and Issia (52 species) recorded the highest number of species, followed by the department of Daloa, which recorded 51 ant species. The department of Vavoua recorded the lowest number of species with 42 ant species.

Table 2 Specific composition of ant species in the various départements

Subfamilies	Tribe	Species	Daloa	Issia	Zoukougbeu	Vavoua
Dolichoderinae	Tapinomini	<i>Tapinoma lugubre</i>	180	68	159	59
	Tapinomini	<i>Tapinoma luteum</i>	0	1	0	0
	Tapinomini	<i>Tapinoma melanocephalum</i>	11	13	6	1
	Tapinomini	<i>Tapinoma</i> sp.1	0	4	0	0
	Tapinomini	<i>Tapinoma</i> sp.2	10	15	0	0
	Tapinomini	<i>Technomyrmex andrei</i>	1	0	1	0
	Tapinomini	<i>Technomyrmex</i> sp.1	0	0	1	0
Dorylinae	Ecitonini	<i>Dorylus nigricans</i>	44	63	43	85
	Ecitonini	<i>Dorylus</i> sp.1	51	0	0	3
	Ecitonini	<i>Dorylus</i> sp.2	271	120	65	39
	Ecitonini	<i>Dorylus</i> sp.4	1	0	1	2
	Cerapachyini	<i>Parasyscia</i> sp.1	0	1	0	0
Formicinae	Camponotini	<i>Camponotus acvapimensis</i>	36	26	6	11
	Camponotini	<i>Camponotus cinctellus</i>	29	69	19	5
	Camponotini	<i>Camponotus maculatus</i>	15	7	23	3
	Camponotini	<i>Camponotus schoutedeni</i>	0	1	0	0

	Camponotini	<i>Camponotus vividus</i>	4	2	3	11
	Formicoxenini	<i>Lepisiota egregia</i>	41	6	183	91
	Formicoxenini	<i>Lepisiota</i> sp.1	2	12	10	2
	Formicoxenini	<i>Lepisiota</i> sp.2	1	0	3	0
	Formicoxenini	<i>Lepisiota</i> sp.3	0	1	0	0
	Lasiini	<i>Nylanderia boltoni</i>	8	16	3	5
	Lasiini	<i>Nylanderia lepida</i>	0	3	0	0
	Lasiini	<i>Nylanderia scintilla</i>	1	1	0	1
	Formicini	<i>Oecophylla longinoda</i>	1222	865	757	736
	Formicoxenini	<i>Plagiolepis</i> sp.1	1	0	0	0
	Camponotini	<i>Polyrhachis concava</i>	0	1	4	1
Myrmicinae	Carebarini	<i>Carebara distincta</i>	9	0	2	11
	Carebarini	<i>Carebara thoraxica</i>	1	0	0	0
	Carebarini	<i>Carebara</i> sp.1	0	0	1	0
	Cataulacini	<i>Cataulacus erinaceus</i>	6	0	2	0
	Cataulacini	<i>Cataulacus traegaordhi</i>	0	0	2	0
	Crematogastrini	<i>Crematogaster</i> sp.1	76	86	23	1
	Crematogastrini	<i>Crematogaster</i> sp.2	68	35	38	23
	Crematogastrini	<i>Crematogaster</i> sp.3	146	0	3	1
	Crematogastrini	<i>Crematogaster</i> sp.4	0	0	2	0
	Crematogastrini	<i>Crematogaster</i> sp.5	15	1	1	2
	Crematogastrini	<i>Crematogaster</i> sp.6	0	2	7	0
	Crematogastrini	<i>Crematogaster</i> sp.7	0	1	0	7
	Formicoxenini	<i>Leptothorax</i> sp.1	1	0	1	0
	Solenopsidini	<i>Monomorium afrum</i>	39	34	9	6
	Solenopsidini	<i>Monomorium bicolor</i>	65	3	134	34
	Solenopsidini	<i>Monomorium exigum</i>	0	1	0	0
	Solenopsidini	<i>Monomorium floricola</i>	76	1	59	120
	Solenopsidini	<i>Monomorium inquietum</i>	4	0	0	0
	Solenopsidini	<i>Monomorium occidentale</i>	0	3	0	0
	Solenopsidini	<i>Monomorium pharaonis</i>	13	4	1	4
	Solenopsidini	<i>Monomorium</i> sp.1	1	0	0	0
	Solenopsidini	<i>Monomorium</i> sp.2	0	1	0	0
	Solenopsidini	<i>Monomorium</i> sp.3	1	0	0	0
	Solenopsidini	<i>Monomorium</i> sp.5	162	0	2	19
	Pheidolini	<i>Pheidole</i> sp.10	21	37	8	44
	Pheidolini	<i>Pheidole</i> sp.12	0	3	19	0
	Pheidolini	<i>Pheidole</i> sp.3	70	153	294	496

	Pheidolini	Pheidole sp.4	78	113	2	0
	Pheidolini	Pheidole sp.6	73	42	41	5
	Pheidolini	Pheidole sp.7	662	238	382	225
	Pheidolini	Pheidole sp.8	948	238	652	553
	Dacetini	Strumigenys sp.1	1	0	0	1
	Tetramoriini	<i>Tetramorium aculeatum</i>	19	3	0	0
	Tetramoriini	<i>Tetramorium anxium</i>	3	1	3	0
	Tetramoriini	<i>Tetramorium bicarinatum</i>	0	0	0	1
	Tetramoriini	<i>Tetramorium caespitum</i>	0	0	0	6
	Tetramoriini	<i>Tetramorium caldarium</i>	0	0	4	0
	Tetramoriini	<i>Tetramorium rheidum</i>	1	0	5	2
	Tetramoriini	<i>Tetramorium sericeiventris</i>	1	2	1	1
	Tetramoriini	<i>Tetramorium simillimum</i>	0	0	8	11
	Tetramoriini	<i>Tetramorium sepositum</i>	0	1	0	0
	Tetramoriini	<i>Tetramorium versiculum</i>	27	2	6	7
	Tetramoriini	<i>Tetramorium zambesium</i>	0	1	0	0
Ponerinae	Ponerini	<i>Bothroponera sorore</i>	0	1	0	0
	Ponerini	<i>Hypoponera</i> sp.1	0	1	0	0
	Ponerini	<i>Leptogenys occidentalis</i>	1	0	0	0
	Ponerini	<i>Leptogenys</i> sp.1	0	2	1	0
	Ponerini	<i>Mesoponera caffraria</i>	16	51	17	10
	Odontomachini	<i>Odontomachus troglodytes</i>	111	161	129	150
	Ponerini	<i>Paltothyreus tarsatus</i>	65	151	111	55
	Pseudomyrmecini	<i>Tetraponera</i> sp.1	0	0	3	0
	Pseudomyrmecini	<i>Tetraponera</i> sp.2	0	0	1	0
5	14	79				

3.3. Bottom-up classification analysis based on sampling methods

The hierarchical classification of the sampling methods used, based on the species richness of the ants, shows similarities between the methods applied. Two main groups stand out (Figure 8). The first group (I) is the pitfall method. The second group (II) is made up of the beating method and the food bait method. The similarity dendrogram shows that the pitfall trap method is very clearly separated from the beating method and the food bait method. The beating method and the food bait method show a high degree of similarity concerning the ant species collected. The species richness of the ants seems to be related to the type of method used.

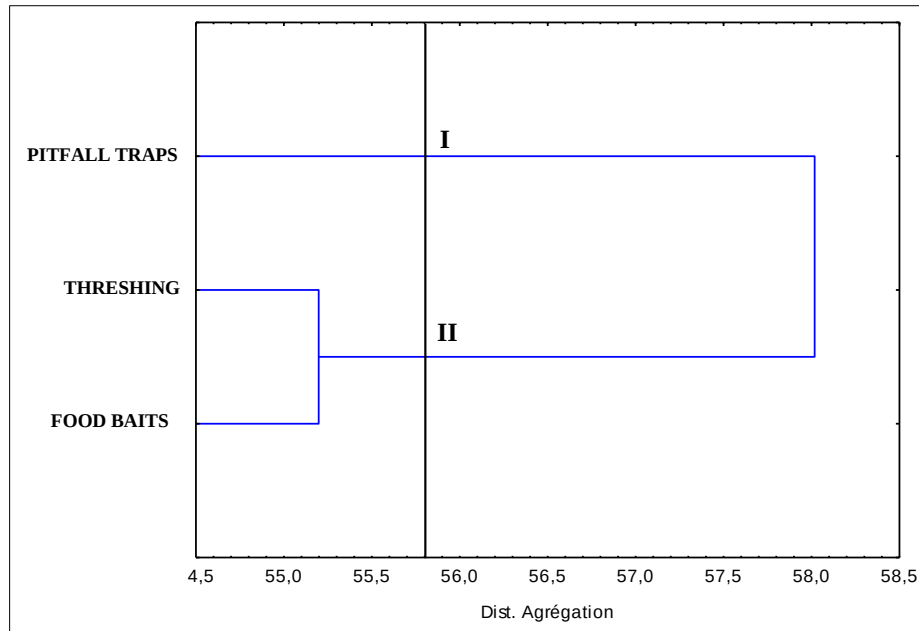


Figure 5 Similarity of environments according to sampling method

3.4. Ant abundance as a function of sampling method and age of cocoa trees

The evaluation of ant abundance according to the sampling method (Figure 9) showed that in the Daloa department, the pit trap method collected the greatest number of ants, followed by the food bait method and finally the beating method. In the department of Issia, the pit trap method also enabled the greatest number of ants to be collected, followed by the beating method and the food bait method. In the department of Zoukougbeu, the food bait method enabled the greatest number of ants to be collected, followed by the pit trap method and the beating method. In the department of Vavoua, the food bait method enabled the greatest number of ants to be sampled, followed by the beating method and finally the pit trap method.

The abundance of ant species as a function of the age gradient of the plot shows that there is no significant difference between age classes (Figure 10). However, the abundance of intermediate-age plots (5231 individuals) was the highest, followed by old (4167 individuals) and young (4086 individuals) plots.

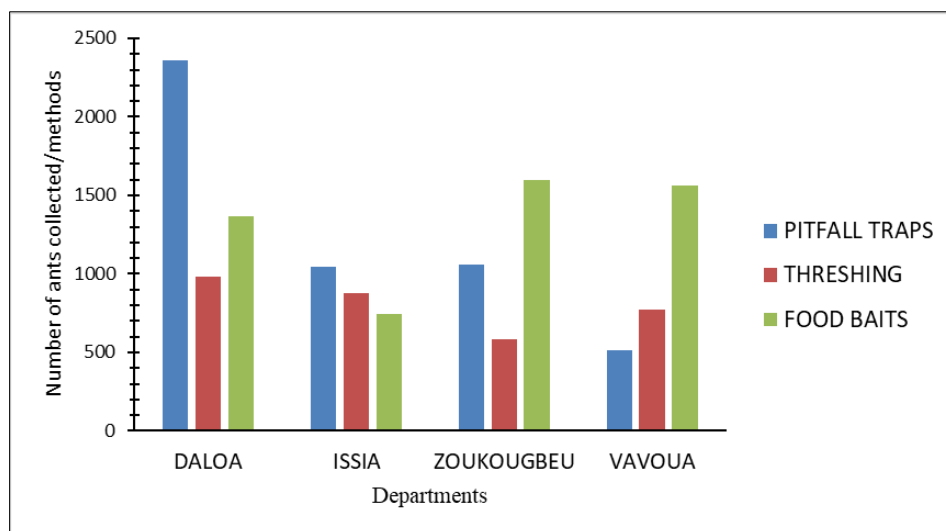


Figure 6 Relative abundance according to sampling method in plantations

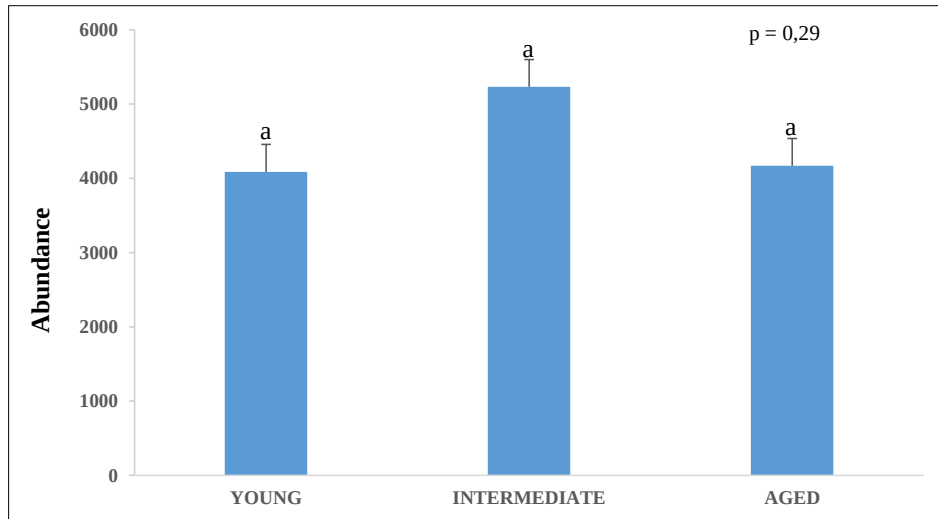


Figure 7 Abundance of ant species as a function of plot age gradient

3.5. Effect of the age gradient of cocoa trees on the diversity index

Analysis of the diversity indices indicates that ant diversity differs according to the age classes of the cocoa farms in the departments (Table III). In the Daloa department, plots with old cocoa trees are more diverse ($H' = 2.54$), followed by plots with young cocoa trees ($H' = 2.38$). Plots with intermediate cocoa trees ($H' = 2.12$) have the lowest Shannon index value. In the same locality, equitability values ranged from 0.62 to 0.71. The highest value was obtained in plots with old cocoa trees ($E = 0.71$), while the lowest value was obtained in plots with intermediate cocoa trees ($E = 0.62$). The Simpson indices for these plots ranged from 0.81 (plots with intermediate cocoa trees) to 0.89 (plots with old cocoa trees).

In the department of Issia, plots with young and intermediate cocoa trees are more diversified ($H' = 2.40$) than plots with old cocoa trees ($H' = 2.38$). Equitability values are between 0.67 and 0.73 for intermediate and old cocoa plots respectively. Simpson's index varies from 0.82 to 0.86. It is higher in plots with young cocoa trees and lower in plots with intermediate cocoa trees.

The Shannon diversity indices value in the Zoukougbeu department vary according to the plots. The Shannon index is higher in plots with old cocoa trees ($H' = 2.50$), while it is lower in plots with young cocoa trees ($H' = 2.27$). The same applies to the equitability and Simpson indices. Equitability is higher in plots with old cocoa trees ($E = 0.69$) and lower in plots with young cocoa trees ($E = 0.64$).

Table 3 Diversity of plots sampled according to the three plot age classes

Department	Plots	Shannon (H')	Equitability (E)	Simpson (Dominance)
Daloa	0-10 years	2.38	0.67	0.82
	11-20 years	2.12	0.62	0.81
	>20 years	2.54	0.71	0.89
Issia	0-10 years	2.40	0.69	0.86
	11-20	2.40	0.67	0.82
	>20 years	2.38	0.73	0.85
Zoukougbeu	0-10	2.27	0.64	0.85
	11-20 years	2.34	0.68	0.86
	>20 years	2.50	0.69	0.88
Vavoua	0-10 years	1.90	0.64	0.81

	11-20 years	2.11	0.66	0.82
	>20 years	2.54	0.71	0.85

3.6. Composition and dominance along the age gradient

The results show that 13488 individuals were collected from all the plots in the Haut-Sassandra region. The young and old plots were dominated respectively by the species *Oecophylla longinoda* with 1263 and 1083 individuals, while the intermediate plots were dominated by the species *Pheidole sp8* with 1328 individuals, although the species *Pheidole sp7* and *Pheidole sp3* were very present in the different plots (Table IV). On all the plots, the species *Oecophylla longinoda* had the highest number of individuals, with a total of 3580 individuals recorded (Figure 12).

Table 4 Specific composition as a function of age gradient

SPECIES	YOUNG	INTERMEDIATE	AGED	TOTAL
<i>Oecophylla longinoda</i>	1263	1234	1083	3580
<i>Pheidole sp.3</i>	555	348	110	1013
<i>Pheidole sp.7</i>	236	744	527	1507
<i>Pheidole sp.8</i>	560	1328	503	2391
<i>Tapinoma lugubre</i>	179	147	140	466
TOTAL	4086	5235	4167	13488

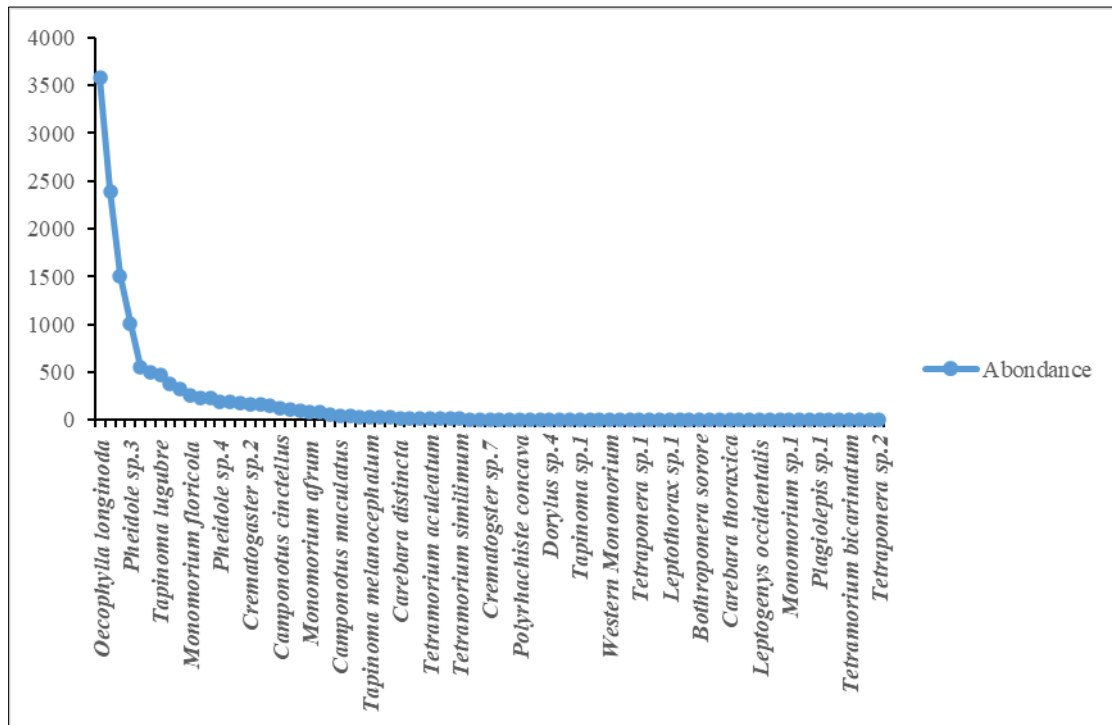


Figure 8 Rank-frequency diagram illustrating the dominance of ant species

4. Discussion

The sampling conducted in cocoa plantations across the departments of Daloa, Issia, Zoukougbeu, and Vavoua allowed for the collection of 76.47% of the expected ant species. This level of representativity suggests that the sampling effectively captured the ant diversity present in these plantations. These results align with other studies showing that proper sampling can capture the majority of insect species diversity in agricultural systems [12] [13] [14].

In total, 79 species were collected, belonging to 25 genera and 5 subfamilies. The departments of Daloa, Issia, and Zoukougbeu exhibited higher species richness (51, 52, and 52 species, respectively), compared to Vavoua (42 species). These variations in species richness may be linked to ecological and environmental factors such as plantation management, vegetation structure, and local agricultural practices [15] [8]. Furthermore, the observed differences could reflect the effect of plantation age on ant community composition, with more diverse communities in older plantations, as seen in other studies on insect diversity in similar agroecosystems [12].

The hierarchical classification of the environments based on the species composition of each plot according to the methods revealed two distinct groups. Samples obtained using beating and baiting methods were significantly similar in their species composition, while they differed from those obtained using pitfall traps. Each sampling method captures different species of ants due to its specific characteristics. The pitfall trap method, for example, is more efficient at capturing ants that live on or in the soil, whereas beating and baiting methods may be more effective at capturing ants living in vegetation or attracted to bait. This aligns with the findings of [16], who demonstrated that different sampling methods can result in biases in species richness and composition estimates. Additionally, the plots studied may show variability in their species composition due to differences in vegetation types, environmental conditions, and other ecological factors. This heterogeneity can lead to the formation of distinct groups in hierarchical classification. Pitfall traps may be more sensitive to species richness in habitats where ants living in the soil or litter are abundant, while beating and baiting methods may be more sensitive in habitats where ants living in vegetation or attracted to bait are more numerous. The differences in sensitivity and efficiency of sampling techniques could lead to different results in the specific composition of the collected samples, which could influence the hierarchical classification of environments. The combination of these factors could explain why samples collected by pitfall traps form a distinct group from those collected by beating and baiting methods. The latter might present similar species compositions due to their shared characteristics and sensitivities. These results are in agreement with [17], who asserts that variability in abundance is related to habitat rather than time.

Shannon and Simpson diversity indices indicated that the sampled habitats are indeed diverse, which is generally an indicator of ecological complexity and ecosystem stability [18]. These results suggest that the cocoa plantations in the region provide suitable environments for ant diversity, reflecting management practices that promote biodiversity in these plantations. According to [19], this may be due to the ecosystems in the region offering a greater variety of habitats and ecological niches for diverse species.

This study showed that the plots in the departments of Daloa, Issia, Zoukougbeu, and Vavoua are all dominated by *Oecophylla longinoda*. The habitats in these departments may be particularly well-suited to the ecological needs of *Oecophylla longinoda*, providing abundant nesting sites and food resources. These results corroborate those of [20], who observed a high abundance of *Oecophylla* ants on Kent mango trees in northern Côte d'Ivoire. According to [21] Allou *et al.* (2006), a significant presence of *Oecophylla* ants has been noted in coconut plots older than 4 years. This species is well known for its ecological role in regulating pest populations [22]. The predominance of *O. longinoda* may indicate ecological stability in these plantations, with this species contributing positively to pest management and local ecosystem structuring. Other studies have shown that this species, due to its social behavior and feeding habits, plays a key role in agroecosystems [23].

5. Conclusion

This study resulted in the collection of 79 species distributed across 25 genera and 5 subfamilies from plantations in various localities. The similarity in species richness based on sampling method indicated that samples collected using food baiting and beating methods were relatively identical in terms of species composition, whereas they differed from those collected using the pitfall trap method. The pitfall method yielded the highest abundances in Daloa and Issia. In contrast, for Vavoua and Zoukougbeu, the baiting methods provided the highest abundances.

The species composition of the environment, in relation to the age gradient of the plots, suggests that both young and old plots are dominated by the species *Oecophylla longinoda*, while intermediate-aged plots are dominated by the species *Pheidole* sp.8. The results of this study reinforce the idea that ant diversity in cocoa orchards in the Haut-Sassandra region is strongly influenced by the age of the plantations and the sampling techniques used. Sustainable orchard management could take advantage of this diversity by optimising farming practices to favour beneficial ant species while minimising negative impacts on local ecosystems. These results also pave the way for future research into the interactions between ants and other components of agroecosystems, in particular the interactions between ants and other beneficial or harmful insects, as well as their influence on soil health and crop productivity.

Compliance with ethical standards

Acknowledgments

The authors again express their gratitude to the villages and their inhabitants, especially the farmers, for their cooperation during the sampling. They would also like to thank the ECOOKIM group for their technical support.

Disclosure of conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest with respect to this article.

References

- [1] Bard, J., R. M., & Lenoir, J. (2011). "The role of ants in regulating the dynamics of pest species in agroecosystems". *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(1), 1-6.
- [2] Diame L., Rey J. Y., Vayssieres J. F., Grechi I., Chailleux A. & Diarra K. (2015). *Ants: biological control agents and major functional elements in fruit agroecosystems*, 19 p.
- [3] Lenoir J., Dufour M., & Lavigne C. (2009). "Ant biodiversity and its response to agricultural intensification in tropical agroecosystems". *Biodiversity and Conservation*, 18(5), 1347-1363.
- [4] Kaspari M., Yuan M., & Sanders N. J. (2000). "Ant communities along a productivity gradient in the Brazilian Amazon". *Ecology*, 81(1), 226-238.
- [5] Yeo K., Tiho S., Ouattara K., Konaté S., Kouakou L.M.M. & Fofana M. (2013). Impact of fragmentation and human pressure on the forest relic of the University of Abobo-Adjamé (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences* 61: 4551- 4565.
- [6] Bharti H., Bharti M., Pfeiffer M., 2016. Ants as bioindicators of ecosystem health in Shivalik Mountains of Himalayas: assessment of species diversity and invasive species. *Asian Myrmecology* 8: 1-15.
- [7] N'Goran Y., Kouadio N. & Sangaré O. (2017). "Impacts of land use on the biodiversity of cocoa plantations in the Haut-Sassandra region". *Environmental Management and Sustainability*, 8(2), 145-157.
- [8] Perfecto I., Vandermeer J., Mas A., & Pinto L. (2007). "Biodiversity conservation in tropical agroforestry systems". *Bioscience*, 57(3), 201-210.
- [9] Blüthgen N., Menzel, F., & Hovestadt, T. (2012). "Diversity of ants in agricultural systems: Effects of habitat structure and age". *Basic and Applied Ecology*, 13(2), 95-104.
- [10] Greenslade P. & Greenslade P. J. M. (1971). The use of baits and preservatives in pitfall traps. *Journal of the Australian Entomological Society*, 10: 253-260.
- [11] Khelil M. A. (1995). *Summary of Entomology*. Office of University Publications, 103 p.
- [12] Koné M. (2013). Diversity and abundance of ground-dwelling ants along a gradient of land-use intensification in a pre-forest area of Côte d'Ivoire (Lamto). PhD thesis, Université Felix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 125 p.
- [13] Yode, D., Dosso, K., Kouakou, L., Yeo, K., Dekoninck, W., Konaté, S., & Kouassi, P. (2020). Evaluating efficiency of different sampling methods for arboreal ants (Hymenoptera: Formicidae) in a west African Forest-savanna mosaic. *Sociobiology*, 67, 492 - 500. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v67i4.5558>.
- [14] Tra Bi C. S., Soro S., Kouakou L., Yeboue L., Yacouba H. T. B., Yeo K., Konate S. & Tano Y. (2020). Ant assembly according to an age gradient in mango orchards in Korhogo (Côte d'Ivoire). *Scientific research publishing*. DOI: 10.4236/ae.2020.81005. *Advances in entomology*, 2020, 8, 56-71.
- [15] Yeo K. (2006). Spatial dynamics and diversity of litter and soil ants in a forest-savanna mosaic in Côte d'Ivoire. Thesis, Université Pierre Marie Curie, 208p.
- [16] Gotelli N. J., & Colwell R. K. (2001). Quantifying biodiversity: Procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4(5), 379-391.
- [17] Kouakou L. M. M. (2015). Study of the anthropophilic myrmecological fauna of the city of Abidjan and the Banco National Park. Master's thesis, 54 p.

- [18] Magurran A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell publishing, Publishing Course at Oxford University, CPC UK, 256 p.
- [19] Yeo K., Delsinne T., Konate S., Alonso L. L., Aïdara D. & Peeters C. (2017). Diversity and distribution of above- and below-ground ant assemblages in a West African forest-savanna mosaic (Lamto, Ivory Coast). *Social Insects*, 64(1): 155-168.
- [20] Coulibaly A. Minhibo M. Y., N'dépo O. R., N'goran A., Doga D. & Sanogo D. (2023). Comparison of different techniques used to assess the abundance of oecophyll ants (*oecophylla longinoda*) in mango orchards in northern Côte d'Ivoire. *Rev. Ivoir. Sci. Technol*, 42 (2023) 132 - 141. ISSN 1813-3290, <http://www.revist.ci>. 10 p.
- [21] Allou K., Doumbia M. & Diallo H.A. (2006). Influence of three factors on the stand of oecophylls in the biological control of the coconut bug in lower Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 18: 33-40.
- [22] Hölldobler B. & Wilson E. O. (1990). *The ants*. Havard university press, Cambridge, Massachusett, USA, 732 p.
- [23] Wijngaarden V. P.M., Kessel V. M. & Huis V. A. (2007). *Oecophylla longinoda* (Hymenoptera: Formicidae) as a biological control agent for cocoa capsids (Hemiptera: Miridae). *Biological control. Proceedings of the Netherlands Entomological Society Meeting - VOLUME (18) 21- 30.*

COMMUNICATIONS

ATTESTATION DE PARTICIPATION ET DE COMMUNICATION

Le Fonds pour la Science, la Technologie et l'Innovation (FONSTI) et
le Programme d'Appui à la Recherche Scientifique (PASRES)
en collaboration avec l'Université Peleforo Gon Coulibaly (UPGC)
décernent cette attestation à :

YACOUBA HANNA-THERESE BISSIRI

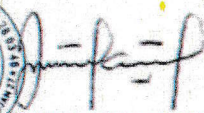
pour sa participation effective et sa communication intitulée :

“ CARACTERISATION SOCIO-ENTOMOLOGIQUE DES VERGERS DE CACAOYERS DANS LE HAUT-SASSANDRA (CÔTE D'IVOIRE)”

au colloque international sur le thème :

“Crises sécuritaires en Afrique : Diagnostics, Défis et Stratégies pour des solutions durables”,

du 28 novembre au 01 décembre 2023, à l'Université Peleforo Gon Coulibaly (UPGC) de Korhogo en Côte d'Ivoire.


COLLOQUES

Professeur COULIBALY Adama
Président du Comité Scientifique



Fait à Korhogo le 01 décembre 2023


COLLOQUES

Docteur SANGARE Yaya
Secrétaire Général du FONSTI

Attestation de Communication

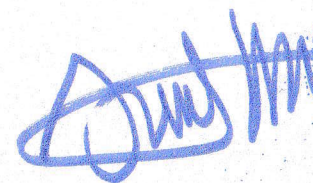
décernée à

YACOUBA HANNA-THERESE BISSIRI

pour sa communication orale intitulée « **Perception et connaissance des agriculteurs sur les menaces des cacaoyers dans la région du Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire)** » lors du Colloque International de l'Agroforesterie Tropicale (CIAT) du 13 au 15 décembre 2023 à l'Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire.



Président du comité scientifique
Pr AKAFOU Doffou Sélastique



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT
UNIVERSITE JEAN LOROUGNON GUEDE
Le Directeur
UFR
Agroforesterie
BP 150 DALOA
CÔTE D'IVOIRE

Directrice de l'UFR Agroforesterie
Dr TONESSIA Dolou Charlotte



CONSEIL AFRICAINE
ET MALGACHE POUR
L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

ATTESTATION DE COMMUNICATION

Décernée à

Madame YACOUBA Hanna-thérèse Bissiri, Université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire

pour avoir participé à la 6ème édition des Journées Scientifiques du CAMES, organisée à l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Yamoussoukro (Côte d'Ivoire), du 11 au 14 Mars 2024, sur le thème : « *Recherche et Innovation pour un développement durable en Afrique : défis et opportunités pour l'enseignement supérieur* ».

Programme Thématique de Recherche : Biodiversité

Titre de la communication : Caractérisation socio-entomologique des vergers de cacaoyers dans le Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire)

Type de la communication : Orale

En foi de quoi, la présente attestation lui est délivrée pour servir et valoir ce que de droit.

Fait à Yamoussoukro, le 14 mars 2024



**Le Secrétaire Général, Grand Chancelier de
l'OIPA et de l'OMI du CAMES**

Pr. Souleymane KONATE

Grand-Croix de l'Ordre International
des Palmes Académiques du CAMES





2^{ème} CONFÉRENCE ENTOMOLOGIQUE — DE CÔTE D'IVOIRE —

ATTESTATION DE COMMUNICATION

Délivrée à

YACOUBA HANNA-THERESE BISSIRI

Pour sa communication affichée sur le thème
“ Utilisation de l'espèce *Oecophylla longinoda* comme agent de lutte biologique en
plantation cacaoyère à Daloa (Côte d'Ivoire) ” lors de la 2^{ème} Conférence
Entomologique de Côte d'Ivoire (CECI-2) tenue à Abidjan,
les 15, 16 et 17 mai 2024

Fait à Abidjan, le 17 mai 2024

Prof. KOUA Kouakou Hervé
Président de la SECI





Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la
Recherche Scientifique



Université Polytechnique
de San Pedro

ATTESTATION DE COMMUNICATION

Délivrée à

YACOUBA Hanna-Thérèse Bissiri

Pour sa communication à la première édition du Colloque International sur la Place des Initiatives Locales dans le Développement Durable des Etats (PILDDE 2024) dont le thème est Agriculture Durable, Souveraineté Alimentaire et Nutritionnelle à l'Université Polytechnique de San Pedro, du 23 au 26 octobre 2024.

Titre de la communication : Effect of termite infestations on marketable cocoa yields in different agroforestry systems in south-west of Côte d'Ivoire.

Type : Communication orale

Fait à San Pedro, le 26 octobre 2024

Le Président du Comité d'Organisation

OUATTARA KARAMOKO
Professeur Titulaire
Université de San Pedro

Prof. OUATTARA KARAMOKO



Le Président de l'Université

UNIVERSITE DE SAN PEDRO
Le
Président
Prof. MÉITÉ MÉKÉ

Résumé

En Côte d'Ivoire, la durabilité de la production cacaoyère souffre de plusieurs contraintes dont la plus préoccupante dans le Haut-Sassandra est l'action des insectes ravageurs. L'objectif de cette étude était de contribuer à la lutte contre ces ravageurs en identifiant des espèces de fourmis utiles pour la lutte biologique. Au préalable, une enquête socio-entomologique auprès des producteurs a montré que les mirides, les foreurs de tiges et la punaise verte sont les principaux ravageurs. Ensuite, quatre départements (Daloa, Issia, Vavoua et Zoukougbeu) ont été visités pour récolter les fourmis dans les vergers et les entrepôts de stockage en utilisant les pièges fosses, le battage et les appâts alimentaires. Au total, l'inventaire a révélé 79 et 13 espèces, respectivement dans les vergers et les entrepôts ; toutes issues de 25 genres et cinq sous-familles. Le nombre des espèces par département ne varie pas fondamentalement. La composition spécifique diffère au niveau des vergers 0-10 ans et 11-20 ans contrairement aux vergers > 20 ans. En plantation, la fourmi rouge *Oecophylla longinoda* est le principal dominant arboricole tandis que l'espèce omnivore *Tapinoma melanocephalum* est la plus présente dans les entrepôts. L'analyse de l'état des cabosses en plantation montre que la présence de la fourmi rouge réduit les attaques des ravageurs. Les essais effectués sur les fèves de cacao infestées montrent une prédation accrue de ténébrions et de larves de pyralidés par *T. melanocephalum*. Ces deux espèces de fourmis apparaissent comme de véritables agents de lutte biologique pour une amélioration de la production cacaoyère.

Mots clés: Cacao, fourmis, prédation, lutte biologique, Haut-Sassandra

Abstract

In Côte d'Ivoire, the sustainability of cocoa production deals with several constraints, the most alarming of which in the Haut-Sassandra region is the action of insect pests. The objective of this study was to contribute to the fight against these pests by identifying ant species that can be used for biological control. At first, a socio-entomological survey with producers showed that mirids, stem borers and green bugs are the main pests. Then, four departments (Daloa, Issia, Vavoua and Zoukougbeu) were visited to collect ants in orchards and storage warehouses using pitfall traps, threshing and food baits. The inventory revealed a total of 79 and 13 species respectively in orchards and warehouses, all belonging to 25 genera and five subfamilies. The number of species per department did not vary fundamentally. The species composition differs for orchards 0-10 years and 11-20 years old, but not for orchards > 20 years old. In orchards, the predatory red ant *Oecophylla longinoda* is the main arboreal dominant, while the omnivorous species *Tapinoma melanocephalum* is the most common in warehouses. The analysis of pod status on cocoa trees in orchards showed that the presence of the red ant drastically reduces pest attacks. Predation tests conducted on infested cocoa beans showed efficiency of *T. melanocephalum* on darkling beetles and pyralid larvae. These two ant species appear as true biological control agents for increased cocoa production.

Key words: Cocoa, ants, predation, biological control, Haut-Sassandra region