



**UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE**

UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE
Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE : 2021-2022
N° D'ORDRE : 048

THESE DE DOCTORAT

Mention : Ecologie, Biodiversité et Evolution

Spécialité : Entomologie Agricole

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)

CANDIDAT

Nom : SIB

Prénom : Ollo

Soutenue publiquement
le 02 avril 2022

JURY

**Président: M. KOFFI Béné Jean-Claude, Professeur Titulaire,
Université Jean LOROUGNON GUEDE**

**Directeur: M. SORO Senan, Maître de Conférences, Université Jean
LOROUGNON GUEDE**

**Rapporteur: Mme YEBOUE N'guessan Lucie, Maître de
Conférences, Université Jean LOROUGNON
GUEDE**

**Examineurs: M. ASSEMIAN N'guessan Emmanuel, Maître de
Conférences, Université Jean LOROUGNON
GUEDE**

**M. YEO Kolo, Professeur Titulaire, Université
Nangui ABROGUA**



**UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE**

UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE
Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE : 2021-2022
N° D'ORDRE : 048

CANDIDAT

Nom : SIB

Prénom : Ollo

THESE DE DOCTORAT

Mention : Ecologie, Biodiversité et Evolution

Spécialité : Entomologie Agricole

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)

JURY

**Président : M. KOFFI Béné Jean-Claude, Professeur Titulaire,
Université Jean LOROUGNON GUEDE**

**Directeur : M. SORO Senan, Maître de Conférences, Université Jean
Lorougnon Guédé**

**Rapporteur : Mme YEBOUE N'guessan Lucie, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE**

**Examineurs : M. ASSEMIAN N'guessan Emmanuel, Maître de
Conférences, Université Jean LOROUGNON GUEDE**

**M. YEO Kolo, Professeur Titulaire, Université Nangui
ABROGOUA**

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	ix
REMERCIEMENTS	x
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	xiii
LISTE DES TABLEAUX	xv
LISTE DES FIGURES	xvii
LISTE DES ANNEXES	xx
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : GENERALITES	6
1.1. MILIEU D'ETUDE.....	8
1.1.1. Localisation	8
1.1.2. Climat	8
1.1.3. Végétation.....	9
1.1.4. Sols.....	9
1.2. CACAOYER.....	10
1.2.1. Origine et répartition géographique	10
1.2.2. Position systématique du cacaoyer	12
1.2.3. Ecologie du cacaoyer	12
1.2.4. Système racinaire	13
1.2.5. Partie aérienne	13
1.2.6. Fructification	14
1.2.7. Système de reproduction	15
1.2.8. Importance du cacaoyer	16
1.2.9. Culture du cacaoyer	16
1.2.10. Zone de production du cacao en Côte d'Ivoire.....	17
1.2.11. Principales pressions parasitaires de la cacaoculture.....	17
1.2.11.1. Principales maladies fongiques	17
1.2.11.2. Principales maladies virales	19
1.2.11.3. Autres ravageurs du cacaoyer	20
1.3. OMBRAGE.....	21
1.4. QUELQUES NOTIONS SUR LES SYSTEMES AGROFORESTIERS.....	22
1.4.1. Système agroforestier.....	22
1.4.2. Système agroforestier à base de cacao	22
1.5. TERMITES	23

1.5.1. Historique	23
1.5.2. Morphologie	24
1.5.3. Position systématique et classification des termites	25
1.5.4. Importance des termites dans les écosystèmes	26
1.5.5. Organisation sociale des termites	27
1.5.6. Groupes trophiques	28
1.5.7. Problématique des termites dans l'agriculture.....	29
1.5.8. Modalités d'attaques de quelques espèces de termites	30
1.5.9. Méthodes de lutte contre les termites ravageurs.....	32
1.5.10. Répartition des termites dans le monde.....	34
1.6. FOURMIS	34
1.6.1. Morphologie	34
1.6.2. Position systématique et classification des fourmis.....	35
1.6.3. Organisation sociale	36
1.6.3.1. Organisation des communautés.....	36
1.6.3.2. Communications entre les fourmis	37
1.6.4. Importance écologique des fourmis	38
1.6.5. Fourmis dans le milieu agricole.....	39
1.6.5.1. Fourmis comme agent de lutte biologique.....	39
1.6.5.2. Fourmis nuisibles.....	40
1.6.6. Répartition des fourmis dans le monde	40
1.6.7. Travaux antérieurs sur les Fourmis en Côte d'Ivoire.....	41
1.7. FIENTE DE POULE	42
1.7.1. Notion de fertilisation	42
1.7.2. Fertilisation à la fiente de poule.....	42
DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES	46
2.1. MATERIEL.....	47
2.1.1. Matériel biologique	47
2.1.2. Matériel technique	47
2.2. METHODES	49
2.2.1. Parcelles d'études.....	49
2.2.1.1. Système sans ombrage ou plein soleil	49
2.2.1.2. Système ombragé.....	49
2.2.1.3. Système intermédiaire 1.....	50

2.2.1.4. Système intermédiaire 2.....	50
2.2.2. Collecte des données floristiques.....	50
2.2.3. Echantillonnage des termites	50
2.2.3.1. Collecte des termites de la litière	50
2.2.3.2. Collecte des termites sur les cacaoyers.....	51
2.2.4. Echantillonnage des fourmis	52
2.2.4.1. Méthode des appâts	52
2.2.4.2. Méthode du battage du feuillage	53
2.2.5. Méthode de détermination de l'effet des attaques de termites sur le rendement en cacao marchand.....	55
2.2.6. Méthode de fertilisation à la fiente de poule	56
2.2.7. Identification des échantillons	57
2.2.7.1. Identification des espèces floristiques	57
2.2.7.2. Identification des termites.....	57
2.2.7.3. Montage et identification des fourmis	57
2.2.8. Analyse floristique des différents systèmes de cacao	59
2.2.8.1. Caractéristiques structurales des différents systèmes agroforestiers.....	59
2.2.8.1.1. Richesse spécifique	59
2.2.8.1.2. Densité moyenne des espèces	59
2.2.8.1.3. Distribution des individus par classes de diamètre	59
2.2.8.1.4. Aire basale.....	59
2.2.8.1.5. Structure verticale de la végétation	60
2.2.8.2. Détermination de la biomasse des ligneux.....	60
2.2.8.2.1. Estimation de la biomasse aérienne.....	60
2.2.8.2.2. Estimation de la biomasse racinaire	61
2.2.8.2.3. Estimation de la biomasse totale	61
2.2.8.2.4. Estimation des stocks de carbone et du dioxyde de carbone séquestrés.....	61
2.2.8.3. Valeur économique des arbres associés aux cacaoyers des différents SAFc.....	61
2.2.9. Analyse faunique des différents systèmes de cacao	62
2.2.9.1. Caractéristiques des attaques de termites sur les cacaoyers.....	62
2.2.9.1.1. Estimation des taux d'attaques des termites	62
2.2.9.1.2. Estimation des dégâts occasionnés par les attaques de termites	62
2.2.9.2. Evaluation de l'efficacité de l'échantillonnage.....	64
2.2.10. Expression des résultats	64

2.2.10.1. Estimation de la richesse spécifique	64
2.2.10.2. Abondance relative	64
2.2.10.3. Indice de Shannon	65
2.2.10.4. Indice d'équitabilité	65
2.2.10.5. Indice de Simpson	65
2.2.11. Analyses statistiques	66
2.2.11.1. Analyses de variances.....	66
2.2.11.2. Classification hiérarchique ascendante.....	66
2.2.11.3. Analyse en composantes principales	66
2.2.11.4. Analyse factorielle de correspondance	67
2.2.11.5. Analyse canonique des correspondances	67
2.2.16.6. Carte auto organisatrice de Kohonen.....	67
2.2.11.7. Analyse canonique de redondance ou ReDundancy Analysis	68
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION.....	70
3.1. DIVERSITE FLORISTIQUE DES DIFFERENTS SYSTEMES DE CACAO	70
3.1.1. Richesse, diversité et composition des arbres d'ombrage.....	70
3.1.2. Distribution des tiges par classes de diamètres	72
3.1.3. Distribution par classes de hauteurs des espèces végétales associées aux cacaoyers.....	73
3.1.4. Aire basale, densité des arbres associés et quantité de biomasse	74
3.1.5. Quantité de biomasse et taux de carbone séquestré dans les différents SAFc	75
3.2. DIVERSITE FAUNIQUE DES DIFFERENTS SYSTEMES DE CACAO	75
3.2.1. Richesse et diversité des termites dans les différents systèmes agroforestiers de cacao	75
3.2.1.1. Richesse spécifique des termites dans les différents systèmes de cacao	75
3.2.1.2. Diversité des différents systèmes d'ombrage.....	76
3.2.1.3. Relation entre les termites et les différents systèmes d'ombrage.....	77
3.2.1.4. Abondance relative des termites dans les différents systèmes d'ombrage	80
3.2.1.5. Similitude entre habitats	81
3.2.1.6. Diversité des termites de la litière	82
3.2.1.6.1. Efficacité de la méthode d'échantillonnage.....	82
3.2.1.6. 2. Richesse spécifique, diversité et densité des termites de la litière	83
3.2.1.6.3. Abondance des groupes trophiques des termites de la litière	86
3.2.1.7. Profil de la distribution des termites.....	87

3.2.1.8. Attaques et dégâts des termites ravageurs dans les cacaoyers des différents SAFc	91
3.2.1.8.1. Diversité des termites ravageurs	91
3.2.1.8.2. Bilan des attaques de termites sur les cacaoyers dans les différents systèmes agroforestiers	92
3.2.1.8.3. Abondance relative des cacaoyers attaqués	97
3.2.1.9. Evaluation de l'impact des infestations de termites sur les rendements en cacao marchands.....	98
3.2.1.9.1. Nombre moyen de cabosses par cacaoyer selon les systèmes d'ombrage....	98
3.2.1.9.2. Masse moyenne d'une cabosse de cacao en fonction de l'état sanitaire du cacaoyer.....	98
3.2.1.9.3. Nombre moyen de fèves par cabosse en fonction de l'état sanitaire du cacaoyer.....	98
3.2.1.9.4. Masse moyenne de fèves fraîches d'une cabosse en fonction de l'état sanitaire du cacaoyer.....	99
3.2.1.9.5. Effet des infestations de termites sur le rendement en cacao marchands ...	104
3.2.2. Diversité et abondance des fourmis suivant les différents systèmes de cultures de cacao.....	108
3.2.2.1. Richesse spécifique et efficacité des méthodes d'échantillonnages des fourmis.	108
3.2.2.2. Composition spécifique des fourmis	108
3.2.2.3. Classifications des systèmes de culture en fonction de leur richesse spécifique .	111
3.2.2.4. Abondances relatives des fourmis dans les habitats.....	112
3.2.2.5. Profil de distribution des fourmis	113
3.2.3. Relations entre la faune et la flore des différents SAFc.....	118
3.2.3.1. Relations entre l'abondance des fourmis <i>Oecophylla longinoda</i> et les cacaoyers attaqués.....	118
3.2.3.2. Relation entre abondance relative des fourmis et des termites	118
3.2.3.3. Influence des paramètres du milieu sur l'installation des termites	120
3.2.3.4. Influence des paramètres du milieu sur l'installation des fourmis.....	121
3.2.3.5. Relation entre le niveau d'ombrage et les dégâts de termites	123
3.3. EFFET DE LA FERTILISATION A LA FIENTE DE POULE SUR LA DIVERSITE BIOLOGIQUE DES TERMITES DANS DIFFERENTS SYSTEMES DE CULTURE DU CACAO	125
3.3.1. Termites récoltés dans les différents systèmes agroforestiers	125

3.3.2. Densité des termites et abondances des groupes trophiques	126
3.3.3. Effet de la fertilisation sur les indices de diversité des termites.....	128
3.3.4. Effet de la fertilisation sur les dégâts de termites	130
3.3.5. Effet de la fertilisation sur les groupes trophiques de termites.....	133
3.4. DISCUSSION	134
CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	135
REFERENCES	135
ANNEXE	

DEDICACES

Je dédie ce mémoire :

A mon père **TCHABETHE Sib**

A ma mère **KAMBIRE Languilemi**

A ma fille **SIB Herie Shana Hannielle**

REMERCIEMENTS

L'achèvement de ce travail mené depuis plusieurs années procure une grande satisfaction. A l'issue de la rédaction de ce mémoire, je suis convaincue que la thèse est loin d'être un travail solitaire. En effet, je n'aurais jamais pu réaliser ce travail sans le soutien d'un grand nombre de personnes dont la générosité et l'intérêt manifesté à l'égard de mes travaux de recherche m'ont permis d'y parvenir. C'est l'occasion de se remémorer les différentes embûches qu'il a fallu surmonter mais surtout les personnes qui m'ont permis d'en arriver là.

Je voudrais exprimer toute ma reconnaissance au Professeur TIDOU Abiba Sanogo épouse KONE, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) pour avoir validé mon inscription au sein de l'institution qu'elle préside.

J'adresse mes remerciements aux Vice-Présidents, Professeur KONE Tidiani, chargé de la pédagogie, de la vie universitaire, de la recherche et de l'innovation technologique, et Professeur AKAFFOU Doffou Sélastique chargé de la planification et des relations extérieures pour les conseils prodigués aux étudiants et pour leur disponibilité.

Je tiens à adresser mes remerciements au Professeur KOUASSI Kouakou Lazare, Directeur de l'UFR Environnement pour son implication et le suivi des travaux des doctorants.

Je voudrais exprimer toute ma gratitude au Directeur du laboratoire de Biodiversité et Ecologie Tropicale, Professeur KOFFI Béné Jean-Claude pour avoir accepté de présider le jury de cette thèse mais également pour m'avoir recruté au sein de son laboratoire et avoir guidé nos premiers pas dans la recherche. Veuillez recevoir, Professeur, l'expression de ma profonde reconnaissance

Il m'est agréable d'exprimer mes profonds remerciements à Docteur SORO Senan, Maître de Conférences à l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour avoir accepté la direction scientifique de cette thèse, pour ses encouragements, son soutien tout au long de cette œuvre et surtout pour ses multiples conseils ainsi que pour toutes les heures qu'il a consacrées à diriger cette recherche. Puissiez-vous trouver, ici, l'expression de ma profonde gratitude.

J'ai bénéficié de l'appui financier de la fondation Volkswagen pour le projet « Cacao durable de la Nawa » dirigé par le Docteur BISSELEUA Hervé, Directeur de la productivité agricole et chef de la phase II de l'ACI (African Cocoa Initiative) à World Cocoa Foundation. Je lui adresse mes remerciements pour m'avoir accepté dans ce projet de recherches et pour l'intérêt qu'il a toujours manifesté pour mes travaux en contribuant non seulement à la définition du thème, mais aussi pour les critiques constructives qu'il a apportées dans la

rédaction du mémoire.

Je voudrais exprimer toute ma reconnaissance au Docteur TRA BI Crolaud Sylvain Maître de conférences à l'Université Jean Lorougnon Guédé, grâce à qui nous avons pu obtenir ce projet. Je lui suis également reconnaissant pour le temps conséquent qu'il m'a accordé pendant l'identification et depuis la rédaction du protocole jusqu'au document final. J'ai beaucoup appris à ses côtés, sa franchise et sa sympathie m'ont permis de surmonter certaines étapes. Je lui adresse ma profonde gratitude.

Mes remerciements vont à l'endroit du Docteur Nandjui Jacob assistant à l'INPH qui a servi d'interface entre nous et le responsable du projet. Je lui suis reconnaissant pour ses encouragements, ses conseils et les longues distances parcourues ensemble dans la Nawa. Veuillez, Docteur, recevoir ma profonde gratitude.

Je suis très honoré que le Professeur YEO Kolo de l'Université Nanguï Abrogoua qui en plus de son aide à l'identification de la myrmécofaune, a bien voulu accepter de faire partir du jury de cette Thèse en tant qu'examineur. Mes remerciements vont à l'endroit du Docteur Assemian N'guessan Emmanuel, Maître de conférences à l'Université Jean Lorougnon Guédé qui a bien voulu accepté d'examiner ce travail. Mes remerciements vont également à l'endroit du Docteur YEBOUE N'guessan Lucie, Maître de conférences à l'Université Jean Lorougnon Guédé et au Professeur KOUA Kouakou Hervé de l'Université Félix Houphouët Boigny qui ont apporté d'importantes améliorations à ce travail à travers leurs remarques, suggestions en tant que rapporteurs.

Je remercie le Professeur KOUASSI Kouadio Henry de l'Université Jean Lorougnon Guédé pour son aide à l'identification des espèces végétales. Mes remerciements vont également à l'endroit des enseignants de l'équipe d'entomologie notamment Docteur N'DEPO Ossey Robert et Docteur TANO Djè Kévin tous Maître de conférences à l'Université Jean Lorougnon Guédé pour les conseils et leur aide à l'amélioration du manuscrit. A ces remerciements, j'associe l'ensemble des membres de l'équipe de travail en écologie tropicale animale (ETETA) de l'UJLoG pour leurs soutiens et leurs conseils.

Je suis très reconnaissant aux différents chefs de village et à mes différents tuteurs de la Nawa pour leurs soutiens et services rendus. Soyez assurés de mon attachement et de ma profonde gratitude.

Je ne saurai oublier les condisciples doctorants des Universités Félix Houphouët- Boigny et Nanguï Abrogoua avec qui j'ai tissé des liens de collaboration sur les chantiers du travail à

la station d'écologie de LAMTO. Mes remerciements vont aussi à l'endroit de mes compagnons de lutte et à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail. Que ces personnes trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Enfin, je remercie ma famille pour son soutien au cours de toutes ces années et sans laquelle je n'en serais pas là aujourd'hui.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ACC : Analyse canonique des correspondances

ACP : Analyse en Composantes Principales

ANOVA : Analysis of Variances (Analyse de variances)

CAH : Classification hiérarchiques ascendantes

CCC : Conseil Café-Cacao

CNRA : Centre national de recherche agronomique

F : degré de variabilité

FAO : Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)

GPS : Global Positional System

ICCO: International Cocoa Organisation

ICRAF : International Center for Research in Agroforestry

IRAD : Institut de Recherche Agricole pour le Développement

p : probabilité

PIB : Produit Intérieur Brut

RDA : ReDundancy Analysis (Analyse de redondances)

REED+ : Réduction des Émissions dues à la Déforestation et à la Dégradation forestière incluant, la conservation, la gestion forestière durable et l'augmentation des stocks de carbone forestier.

SAFc : Système Agroforestier de cacao

SI1 : Système Intermédiaire 1

SI2 : Système Intermédiaire 2

SO : Système Ombragé

SOM : Self Organizing Maps (Carte auto organisatrice)

SSO : Système Sans Ombrage

WCF : World Cocoa Foundation

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Codification des indices de fréquences.....	62
Tableau II: Abondance relative et proportion des espèces ligneuses des différents SAFc	71
Tableau III: Aire basale, densité moyenne et biomasse des arbres associés aux cacaoyers.....	74
Tableau IV: Biomasse totale, quantité de carbone séquestrée et coûts équivalents.....	75
Tableau V: Répartition des espèces de termites dans les différents milieux	78
Tableau VI : Indices de diversité des milieux prospectés.....	79
Tableau VII: Récapitulatif du nombre d'occurrences des groupes trophiques suivant le système de culture	80
Tableau VIII : Richesse spécifique observée et estimée des termites des différents systèmes d'ombrage	83
Tableau IX: Liste des espèces de termites de la litière suivant le système d'ombrage	85
Tableau X: Estimation des erreurs de quantification et de topographie des différentes tailles de la carte de Kohonen.	87
Tableau XI : Liste des espèces de termites récoltées sur les cacaoyers des différents habitats.	91
Tableau XII: Proportion des groupes trophiques de termites des systèmes de culture	92
Tableau XIII: Proportion des cacaoyers attaqués dans les différents systèmes de cultures	93
Tableau XIV: Nombre moyen de cacaoyers présentant des dégâts par quadrat	94
Tableau XV : Classification des espèces selon les fréquences d'attaques	96
Tableau XVI: Nombre moyen de cabosses par cacaoyer selon l'état sanitaire du cacaoyer..	100
Tableau XVII: Masse moyenne d'une cabosse de cacao selon l'état sanitaire du cacaoyer ..	101
Tableau XVIII: Nombre moyen de fèves par cabosse selon l'état sanitaire du cacaoyer	102
Tableau XIX: Masse moyenne des fèves fraîches d'une cabosse selon l'état sanitaire du cacaoyer	103
Tableau XX: Paramètres agronomiques des cacaoyers selon l'état sanitaire	106
Tableau XXI: Paramètres agronomiques des cacaoyers dans les différents SAFc	107
Tableau XXII: Richesse et efficacité de récolte des systèmes d'ombrage	109
Tableau XXIII: Composition spécifique en fourmis des différents systèmes d'ombrage.....	109
Tableau XXIV: Comparaison de l'abondance relative des sous familles de fourmis suivant le système d'ombrage	113
Tableau XXV: Estimation des erreurs de quantification et de topographie des différentes tailles de la carte de Kohonen.	114
Tableau XXVI: Relations entre espèces de termites et variables environnementales	120

Tableau XXVII: Relations entre espèces de fourmis et variables environnementales.....	122
Tableau XXVIII: Liste des espèces de termites récoltés dans les cacaoyères.	126
Tableau XXIX: Liste des espèces de termites récoltées sur les cacaoyers des différents habitats.....	131

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation de la zone d'étude	8
Figure 2: Diagrammes ombrothermiques de la Nawa	9
Figure 3: Production mondiale de fèves de cacao par pays de 2016 à 2019	11
Figure 4: Carte de répartition mondiale des espèces de cacaoyers	11
Figure 5: Cacaoyer en production	15
Figure 6: Cabosses présentant les symptômes de la pourriture brune du cacaoyer	19
Figure 7: Vue d'une plantation ravagée par le swollen shoot.....	20
Figure 8: Quelques bioagresseurs du cacaoyer	21
Figure 9: Morphologie de <i>Pseudacanthotermes militaris</i>	25
Figure 10: Anatomie de la fourmi	35
Figure 11: Répartition des fourmis dans le monde	41
Figure 12: Schématisation des filières « fiente de poulet » en Côte d'Ivoire	45
Figure 13: Quelques éléments du matériel technique d'échantillonnage	48
Figure 14: Loupe binoculaire utilisée pour l'identification des échantillons	49
Figure 15: Dispositif d'échantillonnage des termites	52
Figure 16: Dispositif d'échantillonnage des fourmis de la litière.....	53
Figure 17: Appât couvert de fourmis.....	54
Figure 18: Technique de battage des feuilles à l'aide d'un baton et du parapluie japonais	54
Figure 19: Fertilisation d'un cacaoyer à la fiente de poule.....	56
Figure 20: Différents stades de dégradation du cacaoyer par les termites	63
Figure 21: Proportion des familles de ligneux en nombre d'espèces.....	71
Figure 22: Abondance des arbres associés aux cacaoyers.....	72
Figure 23: Richesse spécifique myenne selon le type d'arbre	72
Figure 24: Distribution de l'abondance des arbres d'ombrage par classe de diamètre	73
Figure 25: Distribution de l'abondance des ligneux par classe de hauteur	74
Figure 26: Analyse en composantes principales montrant les relations entre les parcelles des différents systèmes de culture et les espèces de termites	79
Figure 27: Abondance relative des groupes trophiques de termites.....	81
Figure 28: Dendrogramme de similitude montrant l'association des milieux en fonction de l'abondance relative des espèces de termites.....	82
Figure 29: Courbes d'accumulation des espèces de termites en fonction de l'effort de récolte dans les habitats.....	83
Figure 30: Variation de la densité des espèces de termites suivant le système de culture.	86

Figure 31: Abondance relative des groupes trophiques de termites.....	87
Figure 32: Carte auto-organisatrice de Kohonen et dendrogramme de classification hiérarchique des cellules de la carte de Kohonen sur la base des abondances relatives par espèces de termites.	88
Figure 33: Distribution des échantillons dans la SOM à partir des données des abondances relatives des espèces de termites.	89
Figure 34: Profil de distribution des espèces de termites des sites d'études sur la carte de Kohonen à partir des données d'abondances relatives et d'occurrences.....	90
Figure 35: Distribution des espèces de termites des différents systèmes d'ombrage dans chaque groupe défini par la SOM	90
Figure 36: Dégâts de termites sur les cacaoyers	94
Figure 37: Proportion d'attaque des différentes espèces de termites par système d'ombrage .	95
Figure 38: Abondance relative des cacaoyers attaqués	97
Figure 39 : Similitude des systèmes basée sur la richesse spécifique des fourmis	112
Figure 40: Proportion des sous-familles de fourmis recensées dans les quatre systèmes agroforestiers.....	113
Figure 41: Carte auto-organisatrice de Kohonen (SOM) et dendrogramme de classification hiérarchique des cellules de la carte de Kohonen sur la base des abondances relatives et d'occurrences par espèces de fourmis	114
Figure 42: Distribution des échantillons dans la SOM à partir des données des abondances relatives et d'occurrences des espèces de fourmis.....	115
Figure 43: Profil de distribution des espèces de fourmis sur la carte de Kohonen à partir des données d'abondances relatives et d'occurrences.	116
Figure 44: Distribution des espèces de fourmis des différents systèmes d'ombrage dans chaque groupe défini par la SOM	117
Figure 45: Variation des dégâts de termites en fonction des abondances de <i>O. longinoda</i> ...	119
Figure 46: Evolution des abondances entre fourmis et termites dans les différents systèmes de culture.	119
Figure 47: Analyse canonique des correspondances des espèces de termites et des variables environnementales.....	121
Figure 48: Diagramme d'ordination des fourmis et des variables environnementales	123
Figure 49: Carte factorielle montrant la relation entre le niveau d'ombrage et les types de dégâts	124
Figure 50: Densité des termites des différents systèmes d'ombrage suivant la fertilisation. .	127

Figure 51: Proportion des groupes trophiques de termites suivant la fertilisation.....	128
Figure 52: Effet de la fertilisation sur l'indice de Shannon.	129
Figure 53: Effet de la fertilisation sur la diversité spécifique.	129
Figure 54: Dégâts de termites sur les cacaoyers	131
Figure 55: proportion des types de dégâts par système d'ombrage suivant la fertilisation....	132
Figure 56: Abondance des cacaoyers attaqués.....	132
Figure 57: Proportion des attaques suivant la fertilisation	133
Figure 58: Proportion des groupes trophiques de termites issus des dégâts suivant la fertilisation	134

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Liste des ligneux collectés dans les différents SAFc

INTRODUCTION

La culture du cacao concerne près de 5 millions de producteurs dans le monde (WCF, 2012). Elle occupe une place essentielle dans la vie des producteurs. Plus de 40 à 50 millions de personnes dans le monde y tirent l'essentiel de leurs revenus. L'Afrique représente autour de 70% du marché mondial des fèves brunes. Premier producteur mondial, la Côte d'Ivoire représente à elle seule 35,6% de la production mondiale de cacao, devant le Ghana, l'Indonésie, le Nigeria et le Cameroun. La Côte d'Ivoire est un pays qui, dès son accession à l'indépendance, a fondé son économie sur l'agriculture. Elle concerne les cultures industrielles d'exportations ainsi que des cultures vivrières. Le secteur agricole et agro-industriel contribue pour 38 % au produit intérieur brut (PIB) et constitue la principale source de revenu des 2/3 de la population nationale active (FIRCA, 2009). Au niveau des cultures d'exportation, la Côte d'Ivoire se positionne comme le leader mondial du cacao avec près de 2,2 millions de tonnes, de la noix de cajou (691 000 tonnes / an) et de l'hévéa (780 000 tonnes) (FIRCA, 2019). Au plan économique la cacaoculture représente 40 % des recettes d'exportation et contribue à plus de 15% au PIB (Dufumier, 2016). Elle constitue une principale source de revenu pour de milliers de petits planteurs en milieu rural. En effet, ce secteur mobilise près de 1 million de producteurs qui fournissent un revenu à 5 millions de personnes, soit environ 1/5 de la population du pays (Banque Mondiale, 2019).

Malheureusement, le « miracle ivoirien » des années 1960 et 1970 était basé sur une exploitation extensive de la forêt au profit des cultures d'exportation parmi lesquelles le cacao est le plus important. Ce qui a fait de l'agriculture d'exportation, la base de l'économie ivoirienne (Tano, 2012). L'économie ivoirienne s'est donc construite au fil des années au détriment de sa couverture forestière. Ainsi, pendant que le pays devenait le premier producteur de cacao, la ressource forestière avait presque entièrement disparu. Le couvert forestier est passé de 16 millions d'hectares au début du siècle dernier à environ 2,5 millions d'hectares en 2008 (Albala, 2008). Dans la zone du Sud-ouest pour exemple, 2 millions d'hectares de forêt (soit 80% de la surface forestière totale de la zone) ont été défrichés en 20 ans au profit de la culture de cacao (Tano, 2012). C'est pourquoi, la culture du cacao est perçue de plus en plus, comme étant un agent de déboisement (Gnahoua *et al.*, 2012). Cette culture est accusée de dévorer les forêts ivoiriennes (Konaté *et al.*, 2015).

Dans ce nouveau contexte environnemental « post-forestier », de nombreuses organisations environnementalistes et de solidarité internationale, soucieuses de promouvoir des formes de développement agricole plus "durable", ont formulé des recommandations considérées comme alternatives. Parmi celles-ci, il convient de signaler tout particulièrement la plantation d'arbres d'ombrage, le compostage des déchets agricoles, la récolte des cabosses tous les

quinze jours, etc. L'agroforesterie est donc l'une des solutions potentielles à mettre en œuvre pour faire face au défi de l'intensification écologique des agroécosystèmes en permettant de produire plus et mieux avec peu d'intrants (Harmand & Seghieri, 2019). Ces systèmes composés de cacaoyers et d'arbres forestiers ou fruitiers conservent des rendements stables dans le temps sans requérir une utilisation massive d'intrants chimiques (Jagoret, 2011).

La saturation des terres disponibles, la pression démographique rurale, la surexploitation de la forêt et l'intensification des cultures ont conduit à de nouvelles contraintes environnementales liées à la cacaoculture. Ces contraintes environnementales accentuées par le changement climatique ont favorisé l'apparition de plusieurs types de ravageurs et de maladies dans les cacaoyères. D'une manière générale les principales contraintes de la production du cacao en Côte d'Ivoire peuvent être classées en deux catégories selon leur origine. Ce sont d'une part, les contraintes abiotiques caractérisées par les fluctuations des prix du marché, la rareté des terres disponibles et les contraintes biotiques marquées par l'action des maladies et des insectes ravageurs du cacaoyer d'autre part (Freud *et al.*, 2000). Parmi ces maladies, la pourriture brune des cabosses est la plus importante maladie affectant le cacao en Côte d'Ivoire (Kébé, 1999). Il y'a aussi le virus du swollen shoot (Badnavirus), les champignons pathogènes (Kouakou *et al.*, 2011). Le swollen shoot 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). Les cacaoyers sont aussi attaqués par les Hémiptères, les Lépidoptères et les Isoptères qui causent des pertes de production (Coulibaly & N'Guessan, 1996 ; Babin *et al.*, 2008 ; Tra Bi *et al.*, 2019). A ces difficultés, s'ajoutent le vieillissement du verger et la baisse de la fertilité des sols en raison de leur surexploitation. Cette situation contraint les producteurs à utiliser divers types de fertilisants qui pourraient être des attractifs de certains ravageurs, et à mettre en place différents systèmes de cultures agroforestières. Selon Dufumier (2016) les rendements des cacaoyères ivoiriennes sont parmi les plus faibles au monde, soit moins de 500 kilogrammes de fèves par hectare et par an. Pour y faire face, les planteurs cherchent des solutions pour remonter la production et s'intéressent à l'engrais chimique, mais aussi à des fertilisants organiques, en particulier la fiente de poule. A partir des années 1990, une poignée de planteurs villageois de l'Ouest de la Côte d'Ivoire découvrent l'utilité de la fiente de poulet pour leurs cacaoyers chétifs, plantés sur des sols peu favorables (Ruf & Kiendré, 2015). Dès lors, les producteurs ont recourt de plus en plus à la fiente de poule pour la fertilisation de leurs parcelles cacaoyères. L'avantage de l'utilisation de la fiente réside en plus d'être une source d'éléments nutritifs pour les cultures, la matière

organique améliore les propriétés biologiques et physico-chimiques du sol. En plus d'apporter des fertilisants, les producteurs mettent également en place différents systèmes de cultures agroforestières pour faire face aux différents défis. En effet, la dynamique d'extension de la cacaoculture va susciter un changement des pratiques culturales qui conduira au passage des systèmes agroforestiers pluristratifiés (complexes) à des cultures sous ombrage modéré ou plein soleil (Adou Yao *et al.*, 2016). Des auteurs tels que Tano (2012) ont souligné la présence de ces différents systèmes agroforestiers à base de cacao dans le sud-Ouest ivoirien, caractérisés par une association des cacaoyers à diverses espèces végétales servant d'ombrage aux cacaoyers et souvent générant des revenus au producteur.

En Côte d'Ivoire, en plus des maladies du cacaoyer précitées, certains insectes déprédateurs du cacao notamment, des espèces de termites ont été observées (Tra Bi, 2013). Les termites ont longtemps été considérés comme nuisibles à cause des dégâts qu'ils engendrent sur les cultures, les habitations, etc. Ils ont, néanmoins, un rôle écologique très important car influençant la pédogenèse ainsi que les propriétés physico-chimiques et les fonctions du sol (Su, 2002). Les termites jouent un rôle prépondérant dans l'évolution des sols tropicaux (Bignell & Eggleton, 2000). Cependant, environ 200 espèces de termites sont identifiées comme ravageuses des cultures vivrières, maraîchères ou industrielles (Sand, 1973). Des études ont montré que les termites constituent l'un des plus grands fléaux en agriculture et en agroforesterie tropicales (Mitchell, 2002). Environ 10 % des espèces de termites ont des impacts négatifs dans les habitations et sur les cultures (Constantino, 2002). En agriculture, les termites s'attaquent régulièrement aux vergers et aux jeunes plants en pépinière (Rajagopal, 2002 ; Renoux, 1997). Ces organismes s'attaquent également à d'autres plantes cultivées en causant des dommages importants (Werner & Prior, 2007).

A côté des termites, un autre groupe d'insectes (les fourmis) a un impact considérable sur l'environnement terrestre. Les fourmis possèdent des atouts faisant d'elles des indicateurs efficaces des changements environnementaux (Yéo *et al.*, 2011). Elles interviennent à plusieurs niveaux dans les réseaux trophiques (Holldobler & Willson, 1990). Par exemple, elles sont à la fois des prédatrices qui régulent les populations de nombreux autres insectes tels que les termites. En effet, certaines fourmis sont prédatrices de termites et peuvent aider à réduire les invasions de termites dans les plantations. De plus, en raison de leur capacité à influencer sur la disponibilité des ressources pour d'autres organismes à travers la modification du milieu, les fourmis, tout comme les termites, font partie des organismes dits « ingénieurs de l'écosystème » (Jones *et al.*, 1994).

En Côte d'Ivoire, la plupart des travaux relatifs à la faune termitique et myrmécologique ont porté sur leur diversité et leur rôle écologique dans le fonctionnement des écosystèmes naturels et transformés. Au niveau des termites, des études ont été menées dans les champs d'igname, de riz et de maïs (Foua-Bi, 1983; Akpesse *et al.*, 2008). Des études ont aussi été menées dans les palmeraies, dans l'hévéaculture, dans les cacaoyères et dans les plantations de mangue (Han *et al.*, 1998; Koudou *et al.*, 2004; Tahiri & Mangué, 2007; Tra Bi, 2013; Coulibaly *et al.*, 2014). Les études récentes portent sur les attaques des termites dans les cacaoyers, les plants d'hévéa, les habitations et sur certaines espèces d'arbres (Ano *et al.*, 2018; Coulibaly *et al.*, 2018; Akpesse *et al.*, 2019; Tra bi *et al.*, 2019). Les premiers travaux de recherches sur les fourmis ont été réalisés par Lévieux (1971), Delage-Darchen (1971), Diomandé (1981), Leroux (1982), Messner (1996) et Yéo (2001 ; 2006). Ils ont permis globalement d'étudier l'écologie des fourmis dans les milieux naturels et anthropisés. Des études récentes portant sur la diversité des fourmis ont également été réalisées par Koné (2013), Yéo *et al.* (2016), Kouakou *et al.* (2018) etc.

Dans le contexte actuel de diminution des terres disponibles, de pression démographique rurale, de limites atteintes par l'intensification conventionnelle de l'agriculture et de changement climatique, la communauté scientifique porte un intérêt croissant aux systèmes agricoles pouvant concilier productivité, durabilité et conservation de la biodiversité dans la même unité de terre. C'est en cela que les arbres associés aux cacaoyers et les fertilisants tels que la fiente de poule sont des alternatives pour améliorer la fertilité et la durabilité des systèmes agroforestiers de cacao. Dans cette même quête de la productivité durable et d'amélioration des rendements agricoles à travers la réduction des ravageurs, la lutte intégrée et la lutte biologique sont de plus en plus envisagées. Pour exemple, certaines méthodes de lutte intégrée contre les termites telles que les pratiques culturales englobant l'avancement ou le retard des dates des semis et des récoltes; la sélection variétale et l'utilisation d'extraits de plantes insecticides connues traditionnellement sont recommandées (Wardell, 1990; Hillocks *et al.*, 1996). L'utilisation des fourmis comme agent de lutte biologique a également été prouvée dans des plantations de cacaoyers au Ghana (Campbell, 1994). Des études ont également montré que certaines espèces de fourmis sont prédatrices de termites et peuvent aider à réduire les termites ravageurs dans les plantations.

En Côte d'Ivoire, plusieurs études ont montré l'importance de la faune termitique et myrmécologique par leur rôle fondamental dans les écosystèmes tropicaux. Des dégâts de certaines espèces de termites ont également été mis en évidence. Des études ont également été menées sur la diversité et l'importance économique des arbres associés aux cacaoyers. La

valeur économique de la fiente de poule a également été documentée. Par contre, peu d'études ont été réalisées prenant en compte l'effet de l'ombrage et de la fiente de poule sur la biodiversité des termites et des fourmis dans les cacaoyères. Cette étude apparaît opportune afin de contribuer à la mise en place et à l'adoption de systèmes agroforestiers permettant de réduire à la fois les infestations de termites, d'améliorer le rendement et de produire à long terme. Cette étude réalisée dans le cadre du projet global « cacao durable de la région de la Nawa » a pour objectif général d'évaluer la biodiversité des termites et des fourmis dans différents systèmes agroforestiers de cacao et de déterminer l'effet de la fiente de poule sur la dynamique des termites dans ces systèmes. Il s'agit spécifiquement (1) d'étudier la diversité des arbres associés aux cacaoyers ; (2) d'étudier la diversité des termites, des fourmis et d'analyser les relations entre termites, fourmis, cacaoyers et arbres associés des différents systèmes de culture du cacao ; (3) d'évaluer l'effet de la fertilisation à la fiente de poule sur la dynamique des termites.

Hormis l'introduction, ce mémoire s'articule autour de trois grandes parties. Après avoir présenté les généralités sur la zone d'étude, le cacaoyer, les systèmes agroforestiers, les termites, les fourmis et la fiente de poule dans la première partie, le matériel et les méthodes utilisés sont décrits dans la seconde partie. La troisième partie présente les résultats et la discussion suivie d'une conclusion générale et des perspectives de recherche.

PREMIERE PARTIE : GENERALITES

1.1. MILIEU D'ETUDE

1.1.1. Localisation

Cette étude s'est déroulée dans la région de la Nawa (5° - 6° N et 7° - 8° W) précisément dans les localités de Takoragui ($05^{\circ} 45' 18''$ N - $06^{\circ} 47' 30''$ W), de Petit Bouaké ($05^{\circ} 56' 47''$ N - $06^{\circ} 19' 46''$ W), de Bobouho 1 ($05^{\circ} 35' 33''$ N - $06^{\circ} 01' 53''$ W) et de Gnaboya ($06^{\circ} 04' 31''$ N - $6^{\circ} 54' 35''$ W) (Figure 1). Située au sud-ouest de la Côte d'Ivoire, la région de la Nawa a pour chef lieu de région la ville de Soubré qui est à 370 kilomètres d'Abidjan la capitale économique et à 130 kilomètres de San pédro deuxième ville portuaire du pays. Cette région a été choisie parce qu'elle constitue l'une des principales zones de production de cacao en Côte d'Ivoire. La région de la Nawa fournit environ 20% de la production nationale (CCC, 2013).

1.1.2. Climat

La Nawa est située dans la zone forestière guinéenne. Elle possède un climat équatorial typique avec une pluviométrie bimodale d'une saison des pluies et d'une saison sèche. La saison de pluies se situe généralement de mars à novembre, tandis que la saison sèche se s'étend de décembre à février (Figure 2). La pluviométrie moyenne est comprise entre 1 300 et 1 600 mm/an pour 115 jours de pluie. Les températures moyennes oscillent entre 24°C et 27°C , et peuvent atteindre jusqu'à 30°C pendant la saison sèche.

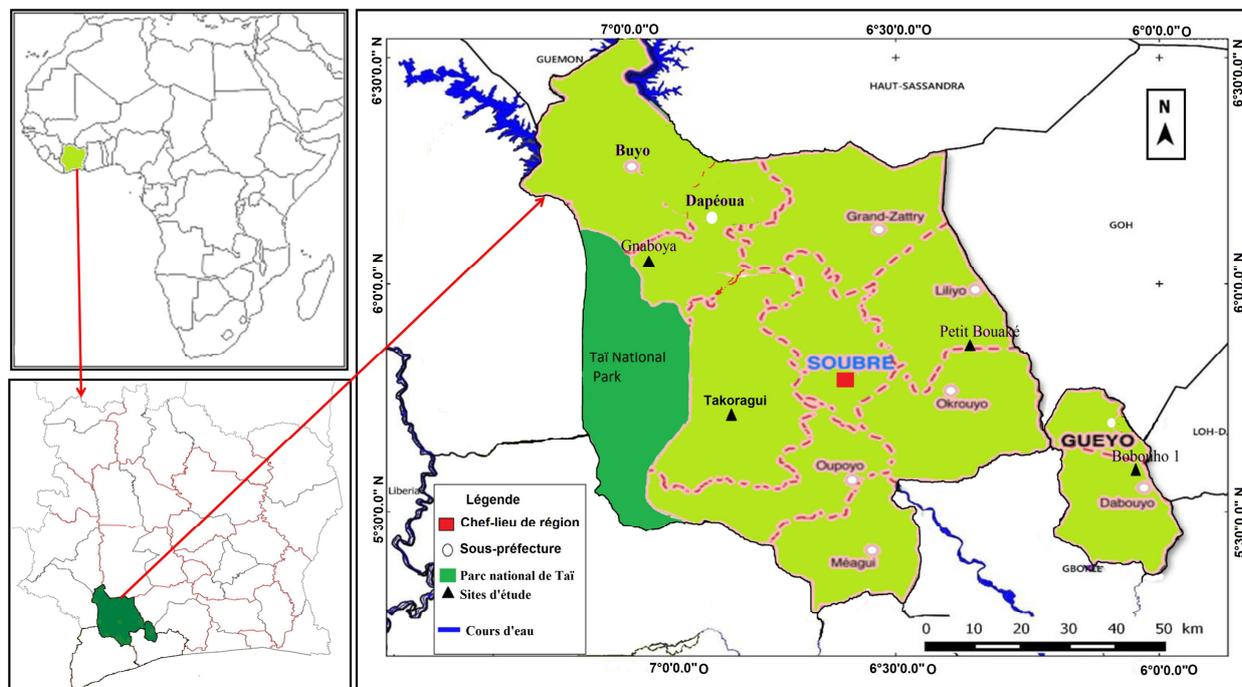


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

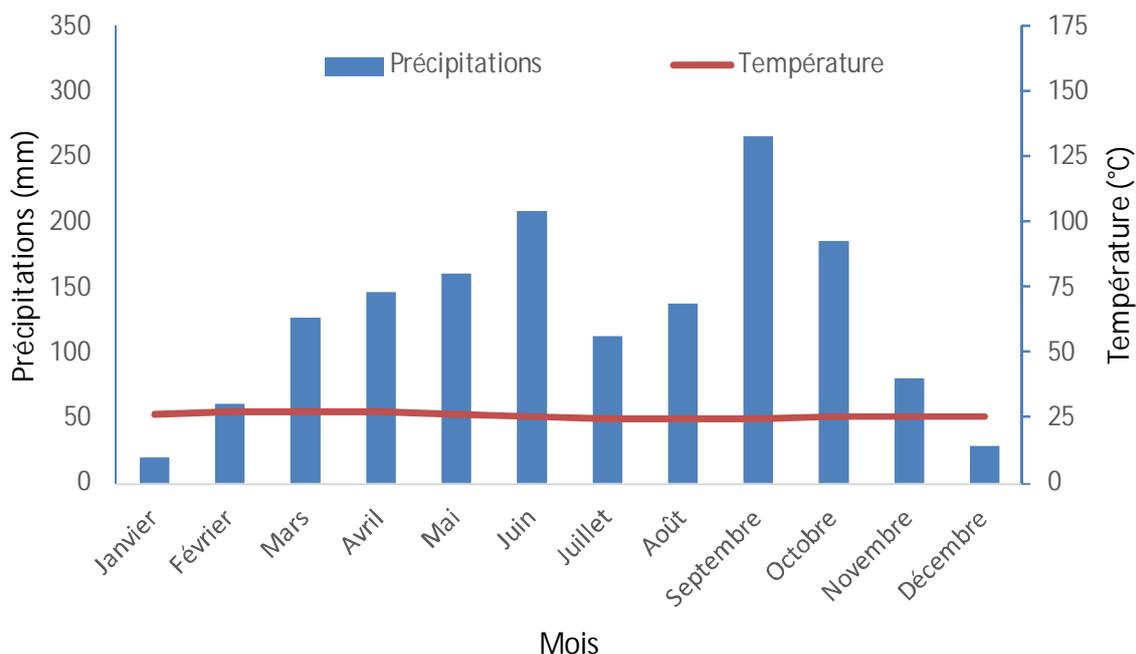


Figure 2: Diagrammes ombrothermiques de la Nawa de 1982 à 2014. (Source : <https://fr.climate-data.org/afrique/cote-d-ivoire-134/>)

1.1.3. Végétation

La végétation de la Nawa, initialement marquée par la forêt dense et humide ou sempervirente intermédiaire, s'est progressivement réduite au profit d'immenses plantations de cultures pérennes. La couverture végétale semblable à celle du Parc national de Taï (536000 ha), est aujourd'hui sujette à des défrichements abusifs par la population mais aussi par l'exploitation abusive des bois d'œuvre et d'industries. Il existe des forêts classées et des forêts villageoises dans la région dont la plupart sont fortement infiltrées par les populations.

1.1.4. Sols

De façon générale, la quasi-totalité des sols dans la zone d'étude appartient à la classe de sols ferralitiques. La plupart de ces sols sont fortement désaturés, à l'exception d'une partie de la région qui comporte des sols ferralitiques moyennement et/ou faiblement désaturés, notamment dans sa zone centrale et septentrionale. Morphologiquement, ces sols se caractérisent par la consistance de leurs horizons et par le développement de l'ensemble du profil. Au niveau du développement des profils pédologiques, les sols de la région sont caractérisés par une grande épaisseur (de 10 à 40 cm) et par une texture variant entre le limon argileux et le sable limoneux (AGEROUTE, 2013). Profonds et perméables, ces sols sont généralement bien adaptés à tous types de cultures vivrières et industrielles.

1.2. CACAOYER

1.2.1. Origine et répartition géographique

Le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) est un arbre cultivé pour ces fèves et dont l'origine botanique est localisée dans les forêts humides d'Amérique tropicale où il se rencontre à l'état naturel (Braudeau, 1969). Cultivée à des fins commerciales, l'espèce *Theobroma cacao* appartient la famille des Malvaceae. Le genre *Theobroma* comprend vingt-deux (22) espèces dont la seule espèce cultivée commercialement est destinée à la préparation de chocolat ou à l'extraction du beurre de cacao (Mossu, 1990). Le cacao, originaire des Amériques, était une précieuse récolte dans les anciennes cultures d'Amérique du Sud. Le terme cacao provient du Nahuatl « cacahuatl ». La première plante a probablement poussé dans le bassin de l'Amazone et les hauts bassins de l'Orénoque, mais les Mayas et les Aztèques ont ensuite développé avec succès les techniques de culture du cacao. La plante était considérée comme un symbole de richesse, et ses fèves ont été utilisées comme monnaie.

Le cacaoyer est aujourd'hui cultivé dans de nombreux pays dont plus des deux tiers est produit par les pays d'Afrique de l'ouest et du centre (Figure 3). En Afrique, la cacaoculture fut introduite au Ghana vers la fin du 19e siècle. Les premières cacaoyères furent établies en Côte d'Ivoire entre 1895 et 1905 mais l'intensification de la culture a débuté en 1912 à l'Est du pays à la frontière avec le Ghana (Burle, 1962).

Les cacaoyers cultivés dans le monde, se répartissent en trois grands groupes : les Criollo, les Forastero, et les Trinitario (Figure 4). Les Criollo fournissent les cacaos fins, très aromatiques, avec une faible amertume. Ils sont beaucoup utilisés en chocolaterie pour les produits de luxe. Mais ils ne sont presque plus cultivés actuellement, car ils sont moins vigoureux et plus sensibles aux maladies que les deux autres variétés. Le groupe des forastero est largement répandu au Brésil, en Équateur, en Amérique centrale, dans le nord de l'Amérique du Sud et dans tout l'Ouest Africain. Les Forastero fournissent la presque totalité des cacaos courants provenant du Brésil et de l'Ouest africain (80% de la production mondiale). Ces cultivars sont vigoureux et résistent bien aux maladies. Le groupe des trinitario sont constitués d'hybrides très hétérogènes, issus vraisemblablement du croisement entre Forastero amazoniens et Criollo, qui sont désignés sous ce nom. Les Trinitario fournissent 10 à 15% de la production mondiale de cacao, de qualité intermédiaire, elle aussi, entre les deux variétés précédentes. Ils sont cultivés où étaient autrefois cultivés les Criollo : Mexique, Amérique centrale, Trinidad, Colombie, Venezuela, Équateur et en Afrique surtout au Cameroun.

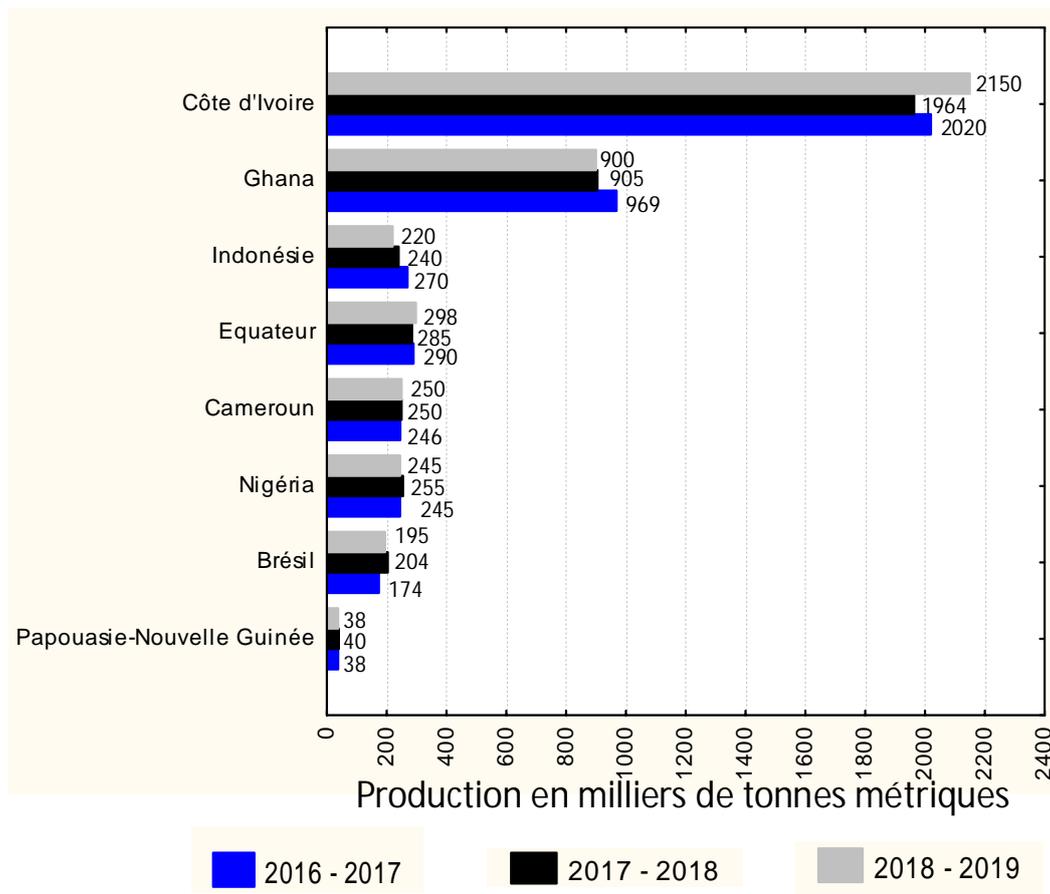


Figure 3: Production mondiale de fèves de cacao par pays de 2016 à 2019 (Manuel, 2019)

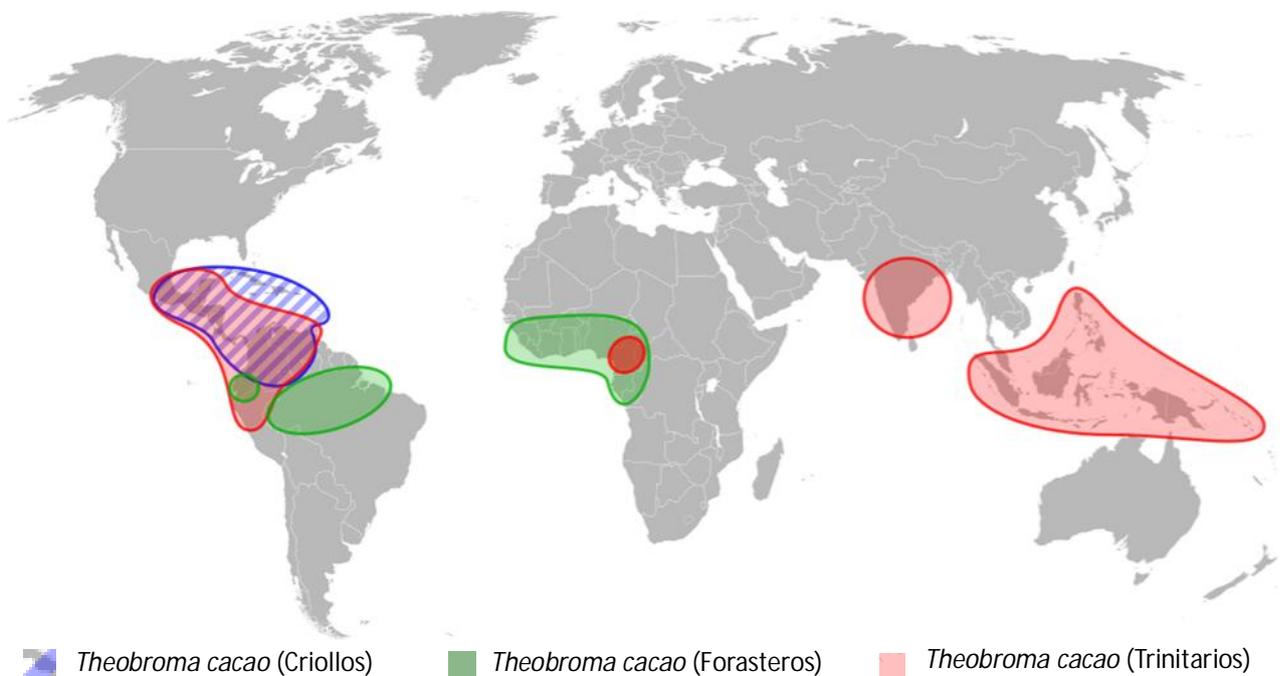


Figure 4: Carte de répartition mondiale des espèces de cacaoyers (Sémhur (2009) cité par Kouassi (2014))

1.2.2. Position systématique du cacaoyer

La classification phylogénique ou classification *Angiosperm Phylogeny Group* (APG) du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) s'organise en :

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)

1.2.3. 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). Dans son habitat naturel, le cacaoyer occupe les étages inférieurs des forêts humides d'Amérique tropicale, entre le 18° de latitude Nord et le 15° de latitude Sud, à des altitudes allant du niveau de la mer jusqu'à 1250 m (Mossu, 1992). Sa croissance optimale exige des températures comprises entre 24 et 28 °C, une pluviométrie annuelle de 1500 à 2500 mm. La lumière conditionne la croissance et le rendement du cacaoyer. Le cacaoyer exige des sols profonds, meubles, perméables, bien drainés, riches en matière organique et en éléments minéraux (Mossu, 1990). Le cacaoyer 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 (Braudeau 1969). Il est très sensible à une déficience hydrique, tout particulièrement lorsqu'il est en concurrence avec d'autres plantes, arbres d'ombrage ou adventices. A l'état naturel (sauvage), le cacaoyer adulte est un arbre pouvant atteindre 12 à 15 m de haut. Lorsqu'il est cultivé, il est maintenu entre 5 à 7 m de haut et ces fruits appelés cabosses ne tombent pas à maturité.

1.2.4. Système racinaire

Le système racinaire 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 de profondeur. Le pivot a pour rôle de bien fixer la plante dans le sol et de puiser l'eau et les éléments nutritifs en profondeur. Son rôle est primordial pendant la saison sèche. 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).

1.2.5. Partie aérienne

La partie aérienne est formée du tronc, des branches et des feuilles (Figure 5A).

a. Tronc

Après germination de la fève, le jeune plant croît verticalement par pousses successives jusqu'à 18 mois. Après cela, la croissance du tronc est interrompue et l'extrémité se divise en cinq (05) branches formant la couronne à environ 1,5 m du sol. Sur le tronc se développent normalement de nombreux rejets ou gourmands qu'il faut régulièrement supprimer.

b. Branches

La croissance des branches 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 sur les branches, des gourmands.

c. Feuilles

A l'état jeune, la coloration des feuilles varie du vert-jaune au rose-orangé ou violacé, plus ou moins foncée selon les variétés. A l'état adulte, les feuilles prennent la coloration vert-foncé. La feuille 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.

1.2.6. Fructification

Les fleurs du cacaoyer apparaissent aussi bien sur le tronc que sur les branches à des points fixes appelés coussinets floraux (Figure 5B). Elles sont de petite taille, de couleur blanchâtre ou rose. Il existe deux (02) grandes périodes de floraison. La première qui part d'Avril à Juillet assure la récolte principale et la deuxième, située entre Novembre à Janvier, assure la récolte intermédiaire. La pollinisation chez le cacaoyer est essentiellement assurée par les insectes (CCC, 2015). Le fruit présente deux stades de développement. Premièrement la chérelle est le jeune fruit nouvellement noué et il mesure environ 5 cm. Secondo, la cabosse est l'état adulte du fruit. Elle pèse en moyenne 400 grammes et contient 30 à 40 fèves. Elle peut mesurer entre 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. Les jeunes chérelles formées sur un cacaoyer ne parviennent pas toutes à maturité. Un nombre important d'entre elles se dessèchent. Ce dessèchement des chérelles est appelé « wilt » et n'est que la manifestation d'un mécanisme régulateur de la production de l'arbre. Seulement, 33% en moyenne des fruits noués sont récoltés.

Le cacaoyer est cultivé pour ses fèves. La taille des fèves est fonction de la variété. Le groupe des criollos possède de grosses fèves plus ou moins arrondies avec des cotylédons blancs ou rouge. Les Forasteros sont caractérisés par de petites fèves. Les Trinitario, hybrides de Forastero et Criollo possèdent une hétérogénéité permettant au sélectionneur de choisir les caractères intéressants sur les deux premiers. Les fèves fraîches des cabosses du cacaoyer sont entourées d'un mucilage sucré et sont rattachées les unes aux autres par le rachis fixé à l'extrémité supérieure de la cabosse. A la base de la fève (gros bout), on note la présence du germe qui est détruit pendant la fermentation.



Figure 5 : Cacaoyer en production

A : Cacaoyer ; **B** : coussinets floraux ; **a** : Tronc ; **b** : Branche ; **c** : Feuilles ; **d**: Cabosse

1.2.7. Système de reproduction

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. Avec un coussinet floral pouvant porter de très nombreuses fleurs, le cacaoyer a une inflorescence de type cyme bipare. Les fleurs sont dotées d'un ovaire contenant environ 30 à 60 ovules. La première floraison peut se produire à l'âge de 2 ans pour les variétés précoces. Elle apparaît plus généralement au cours de la 3ème ou 4ème année. 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 durant leurs 48 heures de vie par un nombre de grains de pollen suffisant pour féconder l'ensemble des ovules présents dans l'ovaire. La manifestation tardive de l'incompatibilité au niveau de l'ovaire et des fécondations varie selon les origines du cacaoyer. La fécondation réussie d'une fleur conduit au développement d'un fruit appelé « cabosse » qui arrive à maturité après 5 à 7 mois. La maturité s'apprécie à la couleur des cabosses. Certaines des espèces de cacaoyers produisent des cabosses rouges, d'autres vertes. A la maturité, les cabosses de type rouge prennent une couleur vermillon orange, tandis que les cabosses de type vert deviennent jaunes à maturité. Le fruit du cacaoyer 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).

1.2.8. Importance du cacaoyer

Le cacao est devenu l'une des cultures les plus rentables dans le monde (ICCO, 2008). En 2008, la culture du cacao a générée pour la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Nigéria et le Cameroun 6 milliards de FCFA pour une production estimée à 4.1 millions de tonnes (Prakash *et al.*, 2010). Les fèves de cacao en plus d'être une source de recette d'exportation pour les pays producteurs, elles constituent une importante source d'alimentation pour de nombreux pays. En effet, riche en éléments nutritifs, la poudre de cacao est utilisée en pâtisseries, en confiserie et pour la préparation de boissons lactées. Ces éléments nutritifs assurent un bon fonctionnement cellulaire, prévient la fatigue, stimule la contractibilité 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.

1.2.9. Culture du cacaoyer

Le cacaoyer se reproduit par semis direct, semis en pépinière, bouturage et greffage. Pour les nouvelles plantations, dans la plupart des cas la culture du cacaoyer débute par l'acquisition d'une parcelle, la préparation de la parcelle, la confection d'une pépinière et la plantation. Pour le semis en pépinière, des sachets en polyéthylène perforés sont le plus souvent utilisés, remplis de terre fertile. Chaque graine nettoyée et débarrassée de son mucilage est semée dans un sachet rempli de terre bien humide qui sera plus tard transféré dans la parcelle acquise. Cependant dans certains pays, on trouve des plantations de cacaoyers issus de greffes et des plantations de clones obtenus par bouturage d'axes plagiotropes (Mossu, 1990). Les densités des plantations varient en fonction des pays et des producteurs. Cependant certains écartements pratiqués en Afrique correspondent aux densités de plantation de 1111 plants/ha, 1333 plants/ha, 1600 plants/ha, voir plus. La réduction de l'ombrage s'avère nécessaire

pendant le développement du cacaoyer. L'entretien de la plantation, le renouvellement au besoin des opérations tels que le débroussaillage, le remplacement des cacaoyers morts, le réglage de l'ombrage, la fertilisation de la parcelle et les traitements phytosanitaires sont également nécessaires.

1.2.10. Zone de production du cacao en Côte d'Ivoire

Selon l'Organisation Internationale du Cacao (ICCO), les prévisions de la production mondiale de cacao pour la campagne 2019-2020 sont estimées à 4,83 millions de tonnes. L'Afrique assure plus de 70% de la production mondiale. Bien qu'étant l'œuvre des petits producteurs ou ménages, la totalité de la production africaine est assurée par quatre pays dont la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Nigéria et le Cameroun, (ICCO, 2014). Pour produire une telle quantité de fèves, les agriculteurs du premier producteur mondial (la Côte d'Ivoire) exploitent de vastes étendues cacaoyères dans la moitié sud du pays. En effet, la Côte d'Ivoire comprend deux grandes zones agro-écologiques : la zone forestière du Sud et la zone savanicole du Nord (Vroh *et al.*, 2019). La culture de cacao est spécialisée dans la zone forestière du Sud. Dans cette zone, le déplacement des fronts pionniers encore appelé « boucle du cacao » en matière de production cacaoyère s'est effectué du Sud-est au Sud-ouest en passant par le Centre. La zone Sud-est fut la première boucle du cacao, après une véritable expansion de la production, entre 1910 et 1950 (Schroth *et al.*, 2004). De par le principe de la délocalisation (baisse de production, saturation foncière et manque de terre forestière, etc.), la région du Centre-ouest a pris le relais de la production entre 1960 et 1970 pour devenir une nouvelle boucle de cacao à la fin de la décennie 1980 (Ruf, 1991; 1995). C'est à partir des années 1990 que la région du Sud-ouest a amorcé son cycle du cacao à travers d'importantes vagues migratoires en provenance des anciennes zones cacaoyères (Tano, 2012). Cette zone devint la nouvelle boucle du cacao à partir de la décennie 2000. Selon Koné (2015) cité par Vroh *et al.* (2019), le front pionnier pourrait probablement migrer vers les zones de l'Ouest et du Centre-ouest après l'extrême Sud-ouest de la Côte d'Ivoire.

1.2.11. Principales pressions parasitaires de la cacaoculture

1.2.11.1. Principales maladies fongiques

La pourriture des cabosses ou la pourriture brune est l'une des maladies du cacao la plus répandue dans le monde (Figure 6). Elle est due à un champignon pathogène du genre *Phytophthora spp* qui provoque des pertes considérables de production (Iwaro *et al.*, 1997). Ces pertes sont estimées à 30-40% à l'échelle mondiale. Les deux espèces du genre

Phytophthora les plus répandues sont *P. palmivora* et *P. megakarya*. Ces deux espèces expriment des symptômes similaires lorsqu'elles infectent les cabosses. De ces deux espèces, *Phytophthora megakarya* (Pythiaceae) endémique en Afrique Centrale et de l'Ouest, est l'espèce la plus agressive. Ce pathogène peut engendrer dans certains pays, la perte de la totalité de la production de cacao (Flood, 2006). La maladie est caractérisée par l'apparition de taches translucides, qui brunissent et se couvrent de feutrages de couleur blanchâtre, constitués de sporocystes qui vont produire et libérer des zoospores (Mpika *et al.*, 2009). Les cabosses malades sont présentes sur les arbres pendant une longue période (4 à 5 mois) et entretiennent de ce fait l'épidémie pendant toute la campagne de production (Evans & Prior, 1987). La dispersion de la maladie en champ est imputable aux facteurs environnementaux tels que les pluies et l'humidité relative élevée. Les baisses de températures créent des conditions favorables au développement de la maladie. Les pluies sont un facteur déterminant de l'initiation de la maladie. Les symptômes apparaissent approximativement une semaine après les pluies (Gregory & Maddison, 1981 ; Deberdt *et al.*, 2008). Plusieurs méthodes sont appliquées pour lutter contre la pourriture brune des cabosses. Généralement, la stratégie intègre les mesures agronomiques utilisées seules ou parfois en association avec la lutte chimique, la lutte génétique et la lutte biologique. La méthode génétique consiste en la sélection de variétés résistantes aux attaques des organismes pathogènes (N'goran *et al.*, 2006). Quant à la méthode chimique, elle repose sur l'application de fongicides. La méthode agronomique utilise des techniques tendant à réduire toutes les sources naturelles ou facteurs naturels susceptibles de favoriser le développement de l'agent pathogène (aération de la plantation par la réduction de l'ombrage et de l'auto-ombrage des cacaoyers, ramassage des cabosses infestées etc). La lutte biologique fait recours à l'utilisation des extraits des plantes ou des microorganismes antagonistes contre le champignon pathogène.

En Côte d'Ivoire, depuis l'apparition de *P. megakarya* dans le secteur Est du verger cacaoyers, vers la fin des années 1990, la pourriture brune des cabosses prend de plus en plus d'ampleur (Kouamé, 2006). Dans ce secteur, les pertes de production sont passées d'une moyenne de 10 % à 45 % (Kébé *et al.*, 1996; Kébé, 1999).



Figure 6: Cabosses présentant les symptômes de la pourriture brune du cacaoyer (Sib, 2018)

1.2.11.2. Principales maladies virales

Le *swollen shoot* est la principale maladie virale du cacaoyer. Découverte la première fois au Ghana en 1936, la maladie du *swollen shoot* a causée des pertes énormes aux producteurs du Ghana, Nigeria et de la Côte d'Ivoire. Le *swollen shoot* est une maladie virale du cacaoyer qui est endémique à l'Afrique de l'Ouest (Ollennu & Owusu, 2002). Le virus responsable du *Swollen shoot* appartient au genre *Badnavirus*. Naturellement, la transmission du *Swollen shoot* se fait par des Hémiptères. Les vecteurs les plus courants appartiennent à la famille des *Pseudococcidae* et les espèces généralement rencontrées sur les cacaoyers sont *Pseudococcus njalensis*, *Pseudococcus citri* et *Ferrisia virgata* (Dufour *et al.*, 1993). En plus d'être vectrices de virus, elles affaiblissent la plante par des prélèvements de sève. Cependant la maladie peut se propager par l'utilisation de matériel végétal infecté et à partir d'arbres de forêts considérés comme des réservoirs du virus. L'origine du nom de cette maladie est liée aux gonflements des rameaux qui constituent l'un de ses symptômes caractéristiques. Mais, cette maladie provoque aussi des bandes rouges et des mosaïques le long des nervures des feuilles ainsi qu'une sévère défoliation. L'infection du cacaoyer par le virus du *swollen shoot* se manifeste

chez le cacaoyer par une baisse brutale du rendement de 25% la première année, puis de 50% la seconde année. Finalement, l'arbre meurt au bout de trois à cinq ans après le début de l'infection (Kouakou *et al.*, 2011) (Figure 7). La lutte contre le swollen shoot peut être envisagée sous trois aspects : destruction des insectes vecteurs, suppression des cacaoyers malades et utilisation de matériel végétal résistant aux attaques du virus dans les replantations. En Côte d'Ivoire, c'est en 1943 que le premier foyer de *swollen shoot* a été décelé dans les départements d'Abengourou et d'Agnibilékrou. Présentement, cette maladie sévit dans la région de la Marahoué et également dans d'autres régions productrices de la Côte d'Ivoire (Kouakou *et al.*, 2011).

1.2.11.3. Autres ravageurs du cacaoyer

Les cacaoyers sont aussi attaqués par les insectes, particulièrement par les Hémiptères, les Lépidoptères et les Coléoptères qui causent des pertes de production (Coulibaly & N'Guessan, 1996 ; Babin *et al.*, 2008 ; N'Guessan *et al.*, 2010) (Figure 8). Parmi les Hémiptères, les mirides sont les plus dangereux à l'échelle mondiale. En Afrique occidentale et centrale, la culture du cacao subit les attaques de deux mirides, *Sahlbergella singularis* et *Distantiella theobroma* qui sont des punaises. Ces deux punaises ont toujours été considérées comme les insectes les plus ravageurs du cacao en Côte d'Ivoire. Certains Coléoptères tels que *Glenea spp* et *Mallodon downesi* s'attaquent également aux cacaoyers (N'Guessan *et al.*, 2016). Hormis les insectes qui causent des dégâts, certains vertébrés tels que les rats, les écureuils, les singes, les oiseaux, notamment les perroquets causent de nombreux dégâts dans les plantations de cacaoyers. Ils s'attaquent principalement à la pulpe des cabosses.



Figure 7: Vue d'une plantation ravagée par le swollen shoot (CCC, 2020)

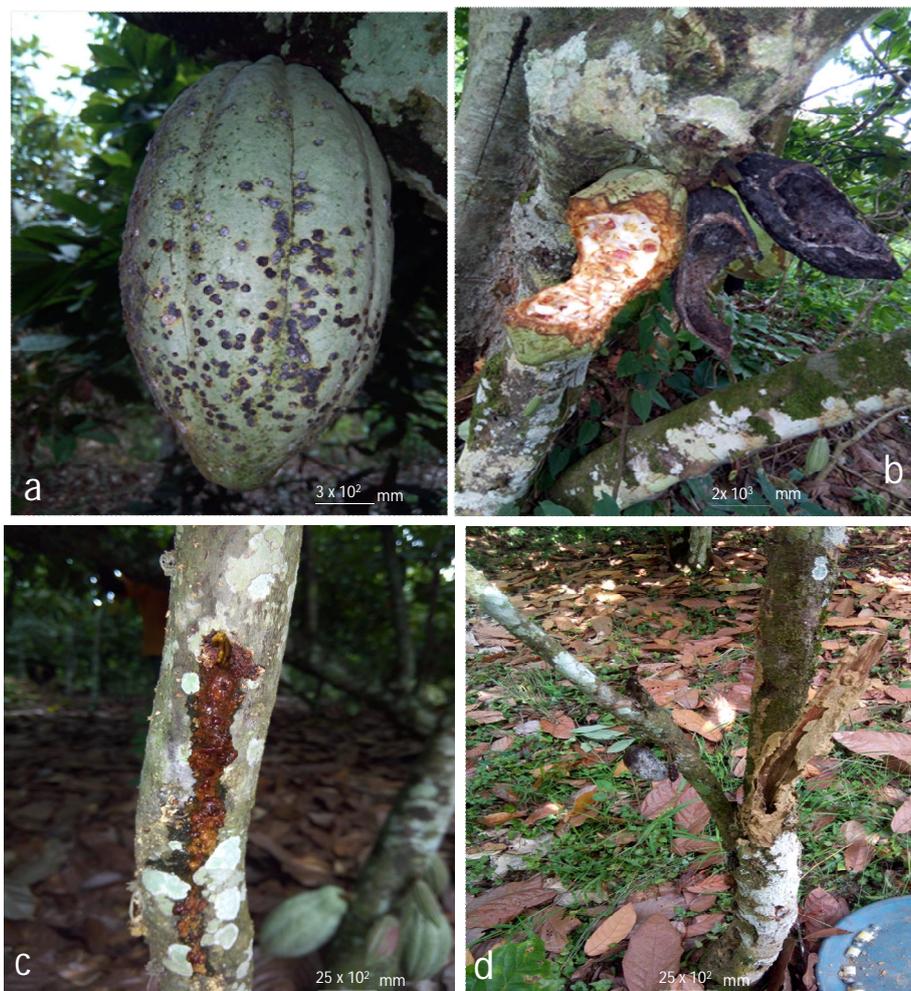


Figure 8: Quelques bioagresseurs du cacaoyer (Sib, 2018)

a : Piqûres des mirides sur une cabosse ; **b :** cabosses de cacaoyer attaquées par des rongeurs ; **c :** tronc de cacaoyer attaqué par un foreur de tige ; **d :** tige de cacaoyer attaqué par les termites

1.3. OMBRAGE

Le cacaoyer est une plante de sous-bois nécessitant de l'ombrage dans son jeune âge (Vincent, 1986). Un ombrage provisoire est indispensable pendant les premières années de culture des jeunes cacaoyers. Cet ombrage provisoire doit être relativement dense, ne laissant passer que 50 % de la lumière totale au moins pendant deux années après la plantation. Il sera diminué progressivement au fur et à mesure du développement du cacaoyer, mais jamais avant la formation bien établie des couronnes (Mossu, 1990). De plus, l'ombrage contribue à protéger le sol. La culture du cacaoyer sous ombrage aménagé diminue les attaques des insectes. Cependant, l'ombrage constituerait un facteur limitant de la production mais uniquement lorsque tous les autres facteurs de l'environnement sont favorables : températures optimales, humidité moyenne excellente, sol riche en humus avec apport d'engrais, traitements

insecticides et anticryptogamiques bien mis en œuvre (Essola, 2014). Selon Verlière (1981), l'ombre a l'inconvénient de réduire la floraison et la production. Il est établi que la productivité du cacaoyer diminue lorsqu'il est cultivé sous un ombrage élevé (Jagoret, 2011). Aussi, les conditions d'environnement influencent fortement la productivité d'un cacaoyer adulte qui peut être pratiquement nulle en cas d'ombrage trop important (Burle, 1961).

1.4. QUELQUES NOTIONS SUR LES SYSTEMES AGROFORESTIERS

1.4.1. Système agroforestier

L'agroforesterie est un système de gestion des ressources naturelles qui, grâce à l'intégration des arbres dans les exploitations agricoles, permet de diversifier et soutenir la production, et d'accroître la résilience des paysages et des moyens d'existence en milieu rural (Harmand & Seghieri, 2019). Torquebiau (2007) définit l'agroforesterie comme une « mise en valeur du sol par l'association simultanée ou séquentielle de ligneux et de cultures saisonnières ou d'animaux, afin d'obtenir des produits ou des services utiles à l'homme ». L'ensemble des définitions de l'agroforesterie concilie la préservation de l'environnement et l'assurance d'un revenu tout en assurant une production satisfaisante pour les agriculteurs.

1.4.2. Système agroforestier à base de cacao

Une agroforêt à base de cacaoyers est tout système d'usage des terres intégrant sur une même parcelle les cacaoyers, les arbres fruitiers et les arbres forestiers, introduits et/ ou ayant poussés spontanément, ainsi que des arbres forestiers qui n'ont pas été abattus au moment de la mise en place de la cacaoyère (Todem, 2005). Certaines définitions de l'agroforesterie de cacao intègrent aussi bien des cultures pérennes, qu'annuelles à celle prédéfinie. Une telle association permet au cacaoculteur de diversifier ses sources de revenus provenant des cultures pérennes, annuelles, des produits forestiers ligneux et non ligneux durant la période qui précède l'entrée du cacaoyer en production. L'intérêt des populations dans la pratique de l'agroforesterie est la constitution d'un cadre de vie satisfaisant leurs divers besoins, en termes d'alimentation, de matériaux de construction, d'artisanats variés, d'énergie, de produits médicinaux, et toutes activités sociales. Les agroforêts à base de cacaoyer, en dehors du rôle socioéconomique qu'elles jouent auprès des populations, constituent des espaces où se conjuguent développement de la cacaoculture, gestion et conservation de la biodiversité (Sonwa *et al.*, 2000).

Sur la base de différents facteurs qui caractérisent les systèmes agroforestiers de cacao, cinq principaux systèmes de production ont été identifiés. Il s'agit des systèmes plein soleil, sous ombrage mixte ou simple, sous éclairci de forêt (ombrage complexe) et des polycultures commerciales (Somarriba & Beer, 2011; Deheuvels *et al.*, 2012). Selon Vroh *et al.* (2019), 3 types de systèmes agroforestiers de cacao sont distingués dans le cas de la Côte d'Ivoire depuis l'introduction de la culture de cacao. Le premier type est un système agroforestier complexe de cacao (SAFc). Ces systèmes agroforestiers complexes sont aussi qualifiés de « gestion rustique du cacao » ou « agroforêt cacao complexe mature » respectivement par Rice & Greenberg (2000) et Ruf (2011). Ces systèmes complexes, sont caractérisés par de grands arbres de densités élevées associés aux cacaoyers et un ombrage permanent. Qualifié de système agroforestier simple (Rice & Greenberg, 2000) ou de « système d'ombrage léger » Ruf (2011), le second système agroforestier contrairement au système complexe, est plus pauvre en biodiversité (Assiri *et al.*, 2012). Le paysage apparaît monotone comme les systèmes de monoculture. Ce sont des polycultures de plantations traditionnelles où les arbres d'ombrage destinés à la commercialisation, sont plantés occasionnellement avec des restes d'espèces forestières (Vroh *et al.*, 2019). Le dernier type de système de culture (système plein soleil) est caractérisé par des plantations où il n'y a pas d'ombrage véritable durant toute la phase culturale. C'est un système qui doit son application au souci d'accroître la production cacaoyère. Il est l'œuvre de nombreux centres de recherche dont le CNRA qui ont mis l'accent sur la sélection d'hybrides pour la mise au point des variétés à haut rendement et résistantes aux maladies (Gnahoua *et al.*, 2012). Dans ce dernier système, la gestion intégrée des déprédateurs, la lutte intégrée contre les maladies et les insectes nuisibles du cacaoyer ainsi que la fertilisation minérale sont pris en compte.

1.5. TERMITES

1.5.1. Historique

Les termites sont des insectes relativement peu évolués dans la phylogénie des insectes. Ils sont apparus bien avant des espèces plus évoluées, comme les abeilles. Ils seraient apparus il y'a 300 millions d'années sans modifications morphologiques majeures. Néanmoins, les termites les plus primitifs qui s'apparentent assez fortement aux blattes (Blattoptéroïdes) ont évolué au cours des temps et se sont différenciés (Louppe & Zaremski, 2016). Les termites appartiennent à l'ordre des Blattaria et à l'Infra ordre des Isoptères (Krishna *et al.*, 2013). Il existe à travers le monde 3106 espèces vivantes et fossiles connues réparties dans 12 familles

(Engel *et al.*, 2009 ; Krishna *et al.*, 2013). Les travaux réalisés sur les termites portent sur l'éthologie, la biologie, le rôle dans les écosystèmes et les dégâts causés aux cultures. La première description des termites et de leurs nids a été faite par Koëning en 1779 en Asie et par Smeathman en 1781 en Afrique. Les premières études réalisées sur les termites en Côte d'Ivoire sont l'œuvre de Bodot (1967); Josens (1972) ; Sangaré & Bodot (1980) ; Kouassi (1987) ; Tano (1993) ; Konaté (1998) et Tra Bi (2005). Ces travaux ont permis de montrer le rôle important des termites dans le fonctionnement des écosystèmes naturels et transformés, mais également leurs effets de nuisance sur les cultures.

1.5.2. Morphologie

Les termites sont des organismes à corps peu chitineux composé d'une tête, d'un thorax et d'un abdomen (Figure 9). La taille moyenne des termites peut varier de 5 à 15 mm. Ils ont une couleur pouvant varier du blanchâtre au marron clair ou marron foncé à noir pour les individus sexués. La tête porte une paire d'antennes rectilignes recouvertes de soies tactiles. Elle possède des organes sensoriels (yeux, antennes, palpes maxillaires et labiaux) d'intégration (cerveau, ganglion suboesophagien) et d'ingestion (mandibules, laciniés, hypopharynx et oesophage) (Grassé, 1986). Chez les termites, la tête est généralement prognathe et la forme de la capsule varie considérablement entre les soldats et les ouvriers. La tête des soldats est généralement rectangulaire (à l'exception des *Nasutitermitinae*) et celle des ouvriers est arrondie et légèrement elliptique. Les individus reproducteurs sont les seuls à posséder une paire d'yeux composés et d'ocelles (organes sensibles à la lumière), les autres castes sont aveugles et communiquent essentiellement par voie chimique (grâce à des phéromones). L'appareil buccal est de type broyeur. Une sclérification nette n'est présente qu'au niveau de la tête des soldats et des sexués. Les mandibules sont développées chez les soldats de certains groupes et ont régressé chez les ouvriers (Grassé, 1986). Une exception est faite pour certains genres de la sous-famille des *Nasutitermitinae* chez qui, les mandibules des soldats ont régressé (Sands, 1965). Le thorax constitue le tagme de locomotion car il porte les pattes, les ailes et les muscles qui assurent le mouvement de ces organes (Grassé, 1949). Les termites possèdent trois paires de pattes (chez les reproducteurs uniquement) et deux paires d'ailes membraneuses presque semblables, ce qui leur a valu le nom "d'Isoptères ". Le thorax est relié à la tête par le cou, qui est une grande structure membraneuse. Sur la face dorsale, les tergites thoraciques sont constitués par le pronotum (le seul tergite thoracique qui est visible lorsque les ailes sont fermées), le mesonotum et le metanotum. Les tarsi sont composés de cinq articles chez les *Mastotermitidae*, et les *Termopsidae*. Chez les *Kalotermitidae*, les

Termitidae, les Hodotermitidae, et les Rhinotermitidae, les tarse sont composés de quatre articles. Les cerques sont présents dans la famille des Hodotermitidae et celle des Termitidae. L'abdomen des termites, comme chez la plupart des insectes adultes, se compose de dix segments. Il contient non seulement les organes reproducteurs et d'excrétion, mais aussi la majeure partie du système digestif. La face dorsale de l'abdomen est couverte par une série de sclérites (Noirot & Noirot-Timothee, 1965).

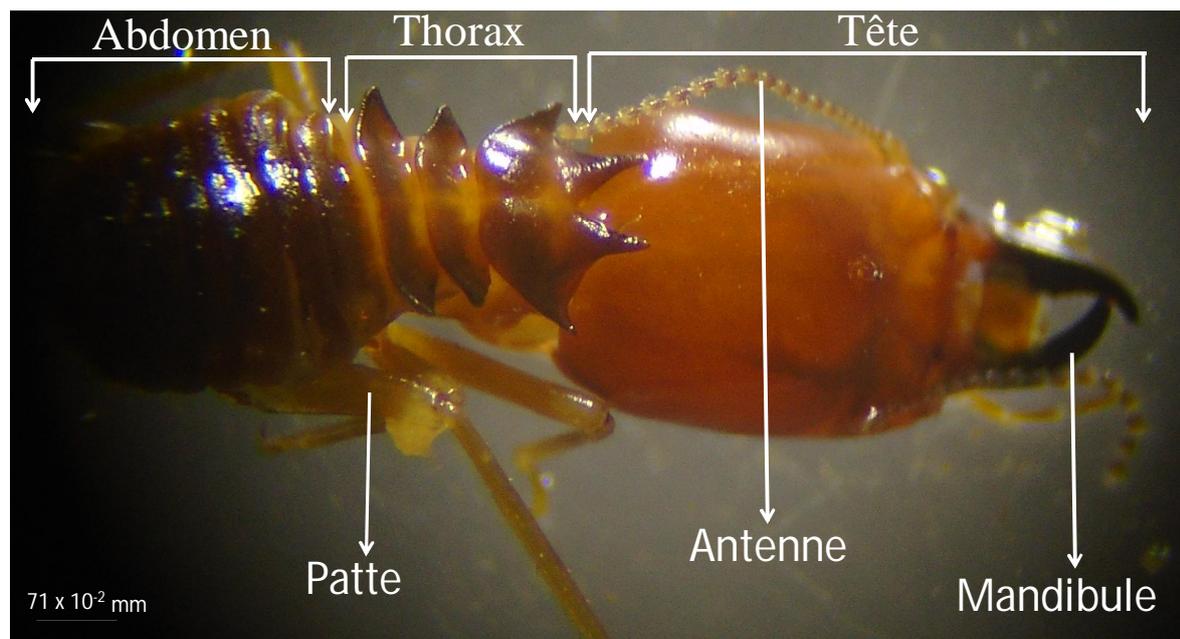


Figure 9: Morphologie de *Pseudacanthotermes militaris* (Sib, 2019)

1.5.3. Position systématique et classification des termites

Le mot termite vient du latin « *tarmes* » qui peut être traduit par "vers qui ronge le bois" en référence à leur régime alimentaire principalement xylophage (ils mangent du bois). Les termites appartiennent au règne Animal, à l'embranchement des Arthropodes et à la classe des Insectes. La nouvelle classification des termites proposée par Krishna *et al.* (2013), classe les termites dans l'ordre des Blattoptères. Selon les auteurs, environ 3105 espèces (dont 173 espèces fossiles) regroupées en 12 familles, 8 sous-familles et 330 genres ont été décrites à ce jour. Parmi ces 12 familles, trois ont totalement disparu. Il s'agit des Archeorhinotermitidae, des Cratomastotermitidae et des Termopsidae. Les Archotermopsidae avec 10 espèces (4 fossiles) sont regroupées en quatre genres. Les Hodotermitidae, renferment 21 espèces regroupées en trois genres. Les Kalotermitidae sont représentés par 29 genres et 489 espèces dont 33 sont fossiles. Les Mastotermitidae ont presque tous disparu avec une seule espèce vivante à ce jour sur les 26 espèces que compte cette famille. Sur les 334 espèces que compte

la famille des Rhinotermitidae, 19 espèces d'un même genre ont disparu. Les Serritermitidae sont représentés par deux genres répartis en 3 espèces toutes vivantes. La famille des Stolotermitidae comprend 13 espèces regroupées en trois genres dont 3 espèces du même genre ont disparu. Les Stylotermitidae comprennent 6 espèces fossiles sur les trois genres et 51 espèces qu'ils renferment. La famille des Termitidae compte 2107 espèces avec 35 espèces fossiles. C'est la famille des termites la plus riche avec plus de la moitié des espèces de termites décrites à ce jour.

Les grandes subdivisions chez les termites sont (Wikipedia.org, 15 mai 2022):

Règne :	Animal
Embranchement :	Arthropodes
Sous- Embranchement :	Hexapodes
Classe :	Insectes
Sous-classe :	Pterygotes
Infra-classe :	Néoptères
Ordre :	Blattoptères

1.5.4. Importance des termites dans les écosystèmes

Les termites ont un rôle écologique très important car ils influencent la pédogenèse ainsi que les propriétés physico-chimiques et les fonctions du sol (Su, 2002). L'effet des termites sur les propriétés physiques du sol est principalement exercé à travers leurs activités de fousseurs et de constructeurs (Duboisset, 2003). En effet, ils creusent de nombreuses galeries souterraines, qui facilitent l'infiltration de l'eau et la circulation de l'air et des minéraux dans les sols (Jouquet *et al.*, 2011). Ils sont également impliqués dans le processus de la décomposition de la matière organique, la concentration, le stockage, et la redistribution des constituants minéraux et organiques (Mc Comie & Dhanarajan, 1993). Ils sont considérés comme un groupe clé dans les écosystèmes arides et semi-arides (Black & Okwakol, 1997). Le comportement de cette macrofaune est très varié selon le groupe trophique et induit d'importantes modifications à la pédogenèse. Les termites jouent un rôle prépondérant dans l'évolution des sols tropicaux (Lavelle *et al.*, 1997 ; Bignell & Eggleton, 2000). A travers leurs constructions, les termites remontent en surface une quantité importante de sol néogène

riche en éléments fins qu'ils mobilisent (Wood & Sands, 1978 ; Arshad, 1982). Le système complexe de leur prise de nourriture, la construction de leur nid épigé, partiellement ou entièrement hypogé et la nature diversifiée de leur alimentation sont les principaux facteurs qui influencent la structure du sol (Sarr, 1999). Les termites sont également considérés comme d'importants décomposeurs dans les zones tropicales semi-arides où ils jouent un rôle important dans le cycle des éléments nutritifs (Holt, 1996).

1.5.5. Organisation sociale des termites

Les termites sont des insectes dits « eusociaux ». L'eusocialité est un mode d'organisation social suivant lequel un groupe d'individus est divisé en castes fertiles et non-fertiles. Chaque individu a un rôle précis dans la colonie et, bien souvent, sa morphologie s'adapte à ce rôle. La morphologie des termites, leur structure anatomique et leur mode de fonctionnement sont très proche de celui des blattes. Mais leur grande capacité à s'organiser en société et la structure de leurs ailes les différencient fondamentalement des blattes. Les termites ont une grande cohésion sociale, à l'image des fourmis. Ils font preuve d'une grande intelligence collective. Ils sont regroupés en trois (3) groupes d'individus morphologiquement identiques. Ils se différencient grâce à leurs castes dont les principales sont : les ouvriers, les soldats, les sexués.

Les ouvriers devraient être considérés comme des imagos arrêtés dans leur développement : absence d'yeux composés, d'ocelles, d'ébauches alaires et organes génitaux atrophiés (Grassé, 1982). Les ouvriers sont aptères et aveugles et forment la caste la plus nombreuse. Ils sont chargés des travaux de construction du nid, de fourrages et d'approvisionnement en nourriture de leurs congénères (les larves, les sexués et les soldats) par trophallaxie. Ils peuvent être très agressifs pour défendre leur nid (Šobotník *et al.*, 2012). Ils sont stériles, dépourvus d'ailes et dotés de pièces buccales (les mandibules) robustes et du type broyeur. Il existe chez certaines espèces un polymorphisme flagrant comme chez *Nasutitermes corniger* où les ouvriers ont des tailles différentes (Holmgren, 1910).

Les soldats beaucoup moins peuplés (1 à 10% en moyenne) (Noirot & Alliot, 1947) sont aveugles et peu abondants au sein d'une colonie. Ils sont responsables de la défense du nid et de la colonie grâce à leurs mandibules hypertrophiées (Eggleton, 2006). Pour Grassé (1982) ils n'ont pas d'autre rôle que la défense de la colonie. Mais plus tard le comportement de fourrage fut confirmé chez les Termitinae (Kaib, 1985) ainsi que chez un Rhinotermitidae (*Heterotermes tenuis*) (Casarin *et al.*, 2008). D'après Noirot (1990), cette

caractéristique de fourragement est une acquisition récente chez les soldats. Selon Hanus *et al.* (2005), les soldats ont également un rôle dans le transport des œufs. Chez certaines espèces, les pièces buccales se réduisent, la tête s'allonge au point de devenir piriforme. Les soldats forment, chez les termites, une caste clairement distincte des ouvriers et de celle des reproducteurs (Deligne, 1971). Ils sont caractérisés par la présence de puissantes mandibules qui servent de défense en plus de la sécrétion des glandes frontales et salivaires (Deligne, 1971). Il y'a quatre catégories de soldats à mandibules bien développées : les mordants (*Glyptotermes*), les faucheurs (*Basidentitermes*), les frappeurs asymétriques (*Pericapritermes*) et frappeurs symétriques (*Termes*) (Deligne, 1971). Les soldats à sécrétion frontale peuvent être répartis en deux groupes : les soldats à sécrétion frontale et à mandibules développées (*Coptotermes*) et les soldats à sécrétion salivaire à mandibule régressée (*Nasutitermes*).

Les sexués sont constitués du roi et de la reine. Ils sont encore, appelés reproducteurs primaires. Le roi va rester à côté de sa reine durant toute la durée de la vie du couple royal. Ils sont les fondateurs de la colonie et assurent sa pérennité. Chez certaines espèces, on estime la durée de vie du couple royale entre 60 à 80 ans. Il n'y a en général qu'un couple par colonie. Ils sont les seuls à posséder deux paires d'ailes. Selon Grassé (1984) les sexués quittent le nid pendant la période de reproduction et durant le « vol nuptial » ils rencontrent le partenaire avec qui ils se laissent tomber au sol. Une fois au sol ils se débarrassent de leurs ailes et cherchent conjointement un endroit où fonder la colonie lors d'un déplacement où le mâle suit la femelle (tandem). Après avoir perdu leurs ailes, les femelles acquièrent progressivement un abdomen volumineux qui les rend presque immobiles. La femelle, après accouplement et fécondation, pond chaque jour un nombre important d'œufs (de 0,5 œuf / s pour *Odontotermes*) (Konaté, 1998). En cas de mortalité de la reine, elle peut être remplacée par des « néoténiques » dits sexués de remplacement. Le roi et la reine assurent également l'alimentation des premières larves.

1.5.6. Groupes trophiques

Les termites ont un régime alimentaire varié et constitué de cellulose contenue dans la matière organique. Certaines espèces consomment les végétaux sains et d'autres, le bois altéré, la litière ou l'humus. Ainsi, la nature et le mode de consommation des aliments permettent de distinguer quatre groupes trophiques : les fourrageurs, les humivores, les xylophages et les champignonnistes.

Les champignonnistes vivent en symbiose avec un champignon du genre *Termitomyces* pour la décomposition de la cellulose et consomment essentiellement de la

litière (Lee & Wood, 1971). Constituée de bois morts et de feuilles, la litière est ramenée au nid et ingérée par les ouvriers puis subit un premier transit dans l'intestin. Le termite dépose ensuite la nourriture prédigérée sous forme de boulette fécale appelée "meule" sur laquelle se développera le champignon (*Termitomyces*) (Grassé, 1982). Cette meule servira d'aliment pour la colonie. Certaines espèces de termites ont une préférence pour la litière d'origine arbustive tandis que d'autres préfèrent la litière graminéenne d'origine épigée. Il y'a aussi des termites dont le régime est plus diversifié et ils consomment soit la litière d'origine arbustive ou graminéenne soit même des végétaux vivants.

Les fourrageurs se nourrissent essentiellement de Poaceae (Graminées). Le matériel végétal est consommé sans dégradation préalable par les micro-organismes. Ils jouent un rôle important dans la fixation de l'azote (Breznak, 2000). Cependant, leur rôle écologique est peu important dans les savanes car ils interviennent très peu dans les processus de fonctionnement des écosystèmes des milieux ouverts.

Les xylophages consomment le bois plus ou moins dégradé et sont aptes à digérer la cellulose et l'hémicellulose de même que les composés aromatiques tels que les tanins et ou la lignine (Eggleton, 2000). Ils digèrent ces composés grâce aux zooflagellés (chez les termites inférieurs) et aux bactéries (chez les termites supérieurs) contenues dans leur tube digestif (Grassé, 1982).

Les humivores sont les principaux consommateurs d'humus parfois mélangé de sol. C'est de la matière organique plus ou moins décomposée et mélangée aux particules minérales (Yapi, 1991 ; Brauman, 2000). Ces termites consomment les particules organiques en décomposition dans la fraction humique des sols. Certains humivores tels que les *Cubitermes* ne sont pas dotés d'un dispositif enzymatique qui leur permettrait de digérer directement les composés des végétaux (lignine, cellulose et l'hémicellulose). Ceux-ci consomment les produits issus de la dégradation des végétaux par les bactéries et les flagellés (Brune, 2011). Les Apicotermittinae (termites sans soldats) consomment parfois du bois en décomposition (Grassé, 1982). Les humivores jouent un rôle important dans la structuration et l'aération des sols.

1.5.7. Problématique des termites dans l'agriculture

Différents travaux ont montré le rôle actif des termites dans le phénomène de bioturbation (Lepage & Tano, 1990). L'activité des termites favorise la fertilisation des sols. Ils jouent un rôle important dans la dynamique des sols et dans le recyclage de la matière organique.

Malgré leur importance dans le recyclage et la fertilisation des sols, certaines espèces de termites ont été reconnues comme ravageurs des cultures vivrières, maraîchères ou industrielles. Les termites constituent l'un des plus importants groupes d'insectes nuisibles (Wood, 1976). Environ, 10 % des espèces de termites ont des impacts négatifs dans les habitations et sur les cultures (Constantino, 2002). Les pertes de récolte engendrées par ces termites sont énormes de l'ordre de 20 à 45 % (Logan *et al.*, 1990 ; Wood & Pearce, 1991). Au Sénégal, de nombreux auteurs ont montré la nuisance des termites sur les essences forestières (Roy Noël, 1982 ; Gueye & Lepage, 1988). Des études ont également montré les attaques de termites sur les essences fruitières (Han & Ndiaye 1996, 1998 ; Ndiaye & Han, 2000, 2002, 2006 et 2007). Les travaux de Ndiaye & Han (2000) ont montré que les taux d'attaques des termites pouvaient dépasser 50 % des pieds chez certaines essences.

En Côte d'Ivoire, les dégâts des termites ont été observés sur les cultures de riz et de maïs (Sands, 1973 ; Cissé, 1991 ; Akpesse *et al.*, 2001). Le taux de présence important des termites dans les plantations de palmiers à huiles avec une mortalité d'environ 4,6 % des jeunes plants est noté par Han *et al.* (1998). Les attaques de termites sur des cultures de mangue, d'hévéa et de cacao ont également été observés (Coulibaly *et al.*, 2013 ; Tra Bi, 2013 ; 2019 ; Akpesse *et al.*, 2019).

1.5.8. Modalités d'attaques de quelques espèces de termites

Les modes d'infestation des termites sont très variables selon les espèces rencontrées (Gbenyedji *et al.*, 2016). Ces auteurs ont observé chez certaines espèces, que la présence des termites est très souvent accompagnée de dégâts plus ou moins sévères. En général, les dégâts sont observés sur les racines et les troncs et dans le bois avec des manifestations caractéristiques propres à certaines espèces.

Les termites du genre *Amitermes* coupent les racines à la base et détruisent le parenchyme de la tige. Ils remplacent l'intérieur du collet par de la terre argileuse. Leurs attaques ont également lieu à l'extérieur de la tige lorsqu'ils consomment le cortex externe pour pénétrer à l'intérieur. Han *et al.* (1998) notaient que l'espèce *Amitermes evuncifer* attaquait d'abord les racines. Ce qui fragilise le palmier et perturbe son alimentation en eau et en éléments minéraux. Ensuite, les termites de cette espèce établissent des galeries et des chambres à l'intérieur du bulbe, entraînant la mort du plant. Gbenyedji *et al.* (2016) ont observé que les attaques de *A. evuncifer* se faisaient sur l'écorce et dans le bois des plantes à l'abri des galeries ou des placages. Les galeries partent en grande partie du sol et remontent vers les

parties supérieures des arbres. Les attaques atteignent rapidement le bois et le cambium de l'arbre à la faveur des fissures ou de petits trous sur le tronc. Les attaques de *A. evuncifer* provoquent un écoulement de sève chez certaines plantes.

Les genres *Pseudacanthotermes* et *Odontotermes* attaquent fréquemment à l'abri de placages qui peuvent recouvrir l'ensemble du tronc et se poursuivre vers les branches. Sous les placages, des morsures avec des galeries de pénétration au niveau de l'écorce qui peuvent atteindre l'aubier sont observées. Ces attaques se font de l'extérieur vers l'intérieur. Certaines espèces de *Pseudacanthotermes* construisent plutôt des placages de terre sur le sol et sur la plante. Le parenchyme de la tige est détruit et l'intérieur du collet est remplacé par de la terre argileuse. Les attaques se déroulent de l'extérieur vers l'intérieur de la tige.

Les termites du genre *Ancistrotermes* attaquent généralement les racines en premier en les coupant à la base. Ce qui permet leur entrée à l'intérieur de la tige. Dans la tige ils vont détruire le parenchyme cortical en consommant le cambium interne. L'intérieur du collet est alors remplacé par la terre argileuse en grande quantité. Les attaques de certaines espèces se manifestent par la construction de placages externes sur la tige, lesquels servent de passage pour attaquer le végétal de l'extérieur vers l'intérieur.

Le genre *Microtermes* sont de petites tailles et très mobiles. Le pivot racinaire est la voie de leur pénétration à l'intérieur du plant qu'ils évident en remontant vers la tige (Coulibaly, 2014). En effet, ces espèces vont couper les racines à la base et progresser ensuite vers l'intérieur de la tige au niveau de laquelle elles construisent une galerie interne qui leur sert de passage. Une fois à l'intérieur de la tige, les termites consomment le cambium et le parenchyme interne de la tige, de l'intérieur vers l'extérieur. Le collet évidé est progressivement comblé avec de la terre.

Le genre *Macrotermes* construisent des nids autour des pieds de la plante. Souvent des galeries et des placages sur les troncs sont visibles. Des galeries ou des placages argileux mis à nu laissent voir des ouvriers de *M. subhyalinus* se déplacer activement sur les troncs des arbres (Gbenyedji *et al.*, 2016). Lorsque les individus entaillent l'écorce, ils rongent le bois et procèdent souvent au bourrage de la tige par la terre argileuse (Coulibaly, 2014).

Le genre *Coptotermes* est le plus nuisible des termites ravageurs du cacaoyer. Il s'attaque préférentiellement aux cacaoyers âgés et fragilisés (Tra Bi, 2013). Le genre *Coptotermes* attaque préférentiellement les arbres présentant des fentes. Ils construisent des placages de récolte sur les parties externes de la plante (tronc et branches) et creuse des galeries dans les structures internes de l'arbre qui communiquent avec le nid hypogé. Les

attaques sévères sont essentiellement situées au cœur de l'arbre avec destruction totale du bois (Coulibaly, 2014).

Le genre *Microcerotermes* construit de nombreuses galeries de récoltes pour accéder aux sources de nourriture. Les placages de récolte partent de la base du tronc jusqu'à la cime de la plante et des galeries à l'intérieur desquelles circulent les termites. Le genre *Microcerotermes* s'attaquent préférentiellement aux surfaces déjà affaiblies (les fentes, les troncs coupés et les rejets coupés) ou aux parties saines du cacaoyer (Tra Bi, 2013). *M. parvus* a été rencontré dans les plantations avec parfois la présence d'un nid arboricole (Gbenyedji *et al.*, 2016).

Nasutitermes arborum construit des nids arboricoles, autour d'une branche d'arbre. De ces nids partent, de spectaculaires galerie-tunnels sur les troncs et le plus souvent pouvant atteindre le sol. La destruction de ces galerie-tunnels laisse entrevoir des perforations dans l'écorce des arbres infestés qui peuvent atteindre l'aubier. Ces attaques se font de l'extérieur vers l'intérieur.

Les attaques de *Trinervitermes geminatus* se font à l'abri de placages qui recouvrent l'ensemble du tronc depuis le sol et se poursuivent vers les branches.

1.5.9. Méthodes de lutte contre les termites ravageurs

Les moyens utilisés pour lutter contre les dégâts causés par les termites varient selon qu'il s'agisse des ravages des termites sur les habitations mais aussi sur les cultures. Au niveau des cultures, Il s'agit des méthodes biologiques, traditionnelles et chimiques.

La lutte chimique contre les maladies ou les ravageurs des cultures se fait essentiellement par l'emploi de produits phytopharmaceutiques. Il s'agit souvent de pesticides (insecticide, bactéricide, fongicide) agissant sur les acariens, les insectes, les nématodes, les champignons, les mauvaises herbes et les bactéries (Bruno, 2011a). Les insecticides ont été les premiers axes de recherche dans la lutte contre les termites des cultures. Les produits tels que le régent ou le fipronyl (Akpesse *et al.*, 2001), le Chlorpyrifos-éthyl (Tahiri & Mangué, 2007) sont fréquemment utilisés pour lutter contre les termites. Ainsi, des traitements insecticides se sont montrés efficaces contre les termites du palmier (Han *et al.*, 1998). Malheureusement, la plupart de certains produits sont interdits car nocifs et dangereux pour l'homme.

En 1971, l'organisation internationale de lutte biologique et intégrée contre les animaux et les plantes nuisibles (OILB) a défini la lutte biologique comme « l'utilisation d'organismes vivants ou de leurs produits pour empêcher ou réduire les pertes ou dommages causés par des

organismes nuisibles et les maintenir en dessous d'un seuil de nuisibilité ». Selon Calatayud (2013), la lutte biologique est apparue en Egypte, environ 2000 ans avant notre ère : le chat y a été domestiqué pour lutter contre les rongeurs. La lutte est surtout dirigée contre les ravageurs (insectes, acariens et nématodes). Sont considérés comme étant des ennemis naturels des ravageurs de cultures les organismes prédateurs, parasitoïdes ou infectieux (champignons entomophages, viroses) limitant la fréquence et la sévérité des pullulations (Bruno, 2011 b). Par exemple l'utilisation des fourmis comme agents de lutte biologique contre les termites a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche. Kenne *et al.* (2000) ont montré que la fourmi *Myrmicaria opaciventris* présente un comportement adapté à la capture des termites. Son efficacité prédatrice et sa flexibilité comportementale permettent de la proposer comme auxiliaire de lutte biologique contre les termites. Les effets pesticides d'extraits de plantes comme par exemple *Azadirachta indica*, *Carica papaya* et *Combretum micranthum* (Tahiri *et al.*, 2010 ; Tahiri *et al.*, 2011) contre les termites, l'utilisation d'entomopathogènes comme le *Metarhizium anisoplae* (Han & Ndiaye, 1996) ont été mis en évidence.

Selon la FAO, la lutte intégrée représente un système de gestion des cultures qui, dans le contexte d'un environnement et d'une évolution des populations de ravageurs, utilise toutes les techniques de lutte disponibles, de la manière la plus cohérente possible, afin de maintenir le niveau des ravageurs en dessous du seuil de nuisance économique. Cette gestion rationnelle des ravageurs doit faire en sorte qu'il n'y ait pas de dépendance totale à une unique méthode de contrôle et prendre en compte les conséquences économiques, sociales et environnementales des stratégies de lutte. Ainsi, les ravages des termites peuvent être limités par des pratiques culturales. Parmi les méthodes culturales, l'amélioration de la vigueur des plantes cibles des déprédateurs, la pratique des cultures à cycle court et des récoltes précoces, l'association des cultures et la rotation des cultures incluant des périodes de jachères, sont les plus utilisées pour réduire l'activité nocive des termites (Logan *et al.*, 1990). L'utilisation d'espèces naturellement résistantes aux termites sont de nouvelles approches de plus en plus envisagée (Atu, 1993). Des méthodes traditionnelles souvent combinées à d'autres méthodes sont usuellement utilisées par les producteurs en Afrique. Au Ghana par exemple, six méthodes de lutte traditionnelles contre les termites sont utilisées (Akutse *et al.*, 2012). Les méthodes de lutte intégrée contre les termites qui sont recommandées sont : les pratiques culturales englobant l'avancement ou le retard des dates des semis et des récoltes ; la sélection

variétale et l'utilisation d'extraits de plantes insecticides connues traditionnellement (Wardell, 1990 ; Hillocks *et al.*, 1996).

1.5.10. Répartition des termites dans le monde

En réalité, de nombreux groupes de termites sont présents sur tous les continents puisqu'ils sont apparus avant la séparation. Cependant, cette translation est intervenue depuis suffisamment longtemps pour entraîner un isolement favorable à l'apparition d'organismes distincts. Ainsi, chaque espèce présente une aire de distribution particulière. Quelques-unes sont répandues sur presque tout le globe et sont dites cosmopolites, tandis d'autres connues sur un territoire restreint sont dites endémiques (Zaremski *et al.*, 2009). Les termites supérieurs sont répartis dans toutes les zones tropicales sur tous les continents. Ce sont les colonies les plus importantes. Ils construisent de grosses termitières cathédrales et s'observent généralement dans les pays d'Afrique et d'Asie. Les travaux d'Emerson (1955) ont montré que les termites champignonnistes provenaient d'Afrique puis progressivement ils se seraient répartis en Asie du Sud et du Sud-est. Les populations les plus importantes de termites se rencontrent dans les régions tropicales humides dont les conditions climatiques sont favorables au développement de ces insectes qui recherchent la chaleur, l'humidité et l'obscurité. Mais c'est en Australie que l'on trouve la plus grande diversité car toutes les familles y sont représentées. En outre, depuis quelques années, la répartition des termites s'étend et des espèces sont devenues endémiques des régions tempérées (Zaremski *et al.*, 2009).

1.6. FOURMIS

1.6.1. Morphologie

Les fourmis sont des insectes mesurant en moyenne de 0,01 à 3 centimètres et pesant de 1 à 150 milligrammes. Le corps des fourmis comme tous les insectes est divisé en trois parties : la tête, le thorax et l'abdomen (Figure 10). La tête est le support des antennes et des mandibules. Les fourmis ont une tête prognathe, une antenne coudée (scape), une glande métapleurale et un pétiote (et un post-pétiote). Le thorax est la partie servant de liaison entre la tête et l'abdomen, et qui supporte les trois paires de pattes permettant à la fourmi de se déplacer dans toutes les directions et dans toutes les positions possibles. L'abdomen, quant à lui, contient tout le système digestif et le moteur du système sanguin. Même si la plupart des fourmis sont asexuées, certaines présentent un système reproductif mâle ou femelle (Oudfel, 2006). Comme chez les autres Hyménoptères apocrites (guêpes, abeilles...), il existe un étranglement

(pétiole) entre le thorax et l'abdomen. Ce pétiole prend la forme d'une écaille plus ou moins inclinée ou de un ou deux nœuds. Ce sont des caractères importants qui permettent de diviser la famille des fourmis (les Formicidae) en une vingtaine de sous-familles (Passera, 2012). Chez les Myrmicinae et les Ponerinae, les femelles possèdent un aiguillon vulnérant. Chez les Formicinae et les Dolichoderinae, l'aiguillon a disparu mais les femelles peuvent projeter du venin par le cloaque.

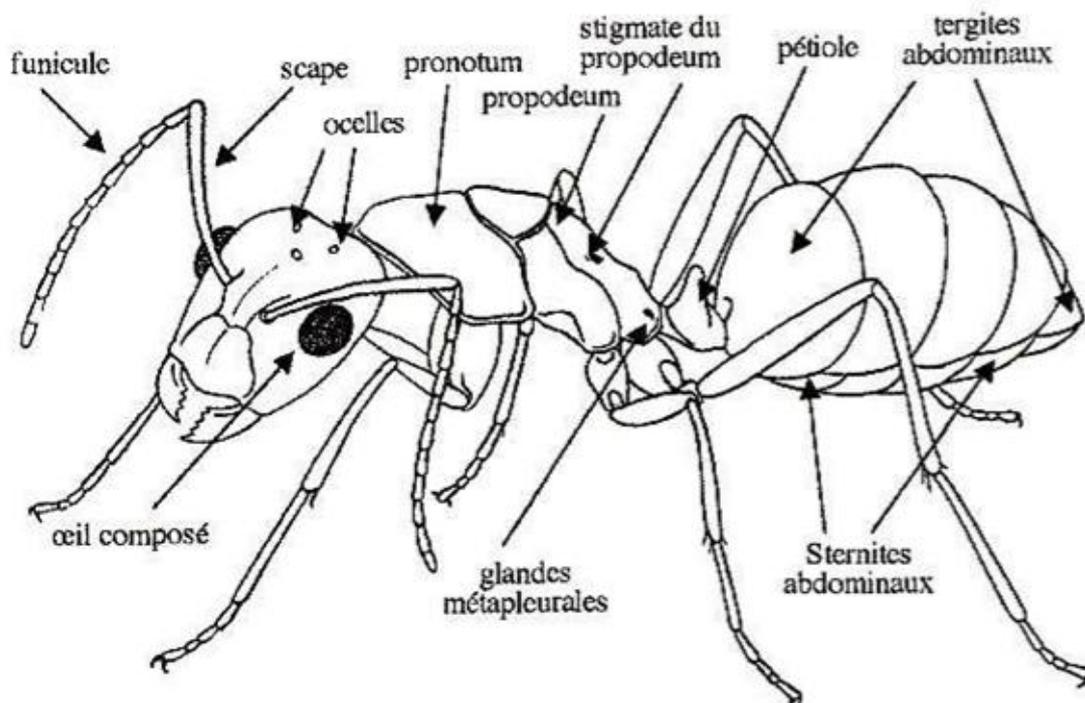


Figure 10: Anatomie de la fourmi (Anonyme, 2012)

1.6.2. Position systématique et classification des fourmis

Les fourmis sont des insectes sociaux formant des colonies, appelées fourmilières, parfois extrêmement complexes, composées de quelques dizaines à plusieurs millions d'individus (Deneubourg, 1991). Elles sont des Hyménoptères du sous-ordre des Apocrites. Les fourmis sont classées dans la super-famille des Vespoïdés et dans la famille des Formicidae. La seule famille des fourmis se subdivise en 288 genres regroupés en 20 sous-familles dont huit se trouvent en région néotropicale (Bolton, 2003 ; Agosti & Johnson, 2005). Il existe plus de 14 000 espèces de fourmis réparties sur le globe, et ayant chacune des spécificités plus ou moins courantes au sein de la famille (Ponthieu, 2018).

Selon Wikipedia.org cité par Koné (2013), la systématique des Formicidae est la suivante :

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

1.6.3. Organisation sociale

1.6.3.1. Organisation des communautés

Dans les communautés animales, les espèces sont dites organisées lorsque leurs interactions se traduisent par un agencement trop fréquent pour être le simple fruit du hasard. Chez les fourmis, de nombreuses études ont mis en évidence des agencements d'espèces dans la plupart des milieux (Andersen & Patel, 1994). La fourmilière et ses environs constituent le centre de la vie communautaire des fourmis. A l'intérieur de la fourmilière les tâches sont divisées entre les fourmis selon la spécialité de chacune d'elles. Toutes les fourmis étant eusociales, la vie en société est caractérisée par une répartition du travail. Cette répartition se fait entre les deux principales castes que comporte la colonie : la caste royale et la caste ouvrière (Yéo, 2006). Ponthieu (2018) définit trois sortes d'individus chez les fourmis : les reines, les mâles et les ouvrières.

Les reines (une ou plusieurs dans une fourmilière) sont nettement plus grosses que les autres fourmis. La colonie va en général exister tant que la reine est vivante, la durée de vie de cette dernière peut aller jusqu'à 28 ans (record mesuré en laboratoire) (Keller & Genoud, 1997).

Leur rôle se résume essentiellement à pondre des œufs et sont donc les fondatrices de nouvelles colonies.

Les ouvrières forment la majorité des habitants de la fourmilière. La durée de vie des ouvrières est plus courte, variable selon les espèces, de quelques semaines à quelques dizaines de mois. Elles ne participent pas à la reproduction et sont libérées des tâches liées à celle-ci. Cela leur permet de se spécialiser dans d'autres activités notamment le nourrissage de la reine et des larves. Elles sont également chargées de la défense et de l'entretien de la colonie, qui comprend la construction des galeries, les soins apportés aux jeunes, la quête de la nourriture, etc...

Les soldats plus massifs que les ouvrières, possèdent souvent de grosses mandibules. Leur rôle est de défendre la fourmilière, et de transporter des charges lourdes. Mais chez les fourmis "Grand Galop" *Camponotus maculatus*, les soldats participent aux soins des larves, et donnent à manger aux fourmis qui le demandent. Chez cette espèce on peut distinguer des formes intermédiaires entre la petite ouvrière grêle et le puissant soldat.

1.6.3.2. Communications entre les fourmis

Les colonies de fourmis sont un remarquable modèle d'organisation au point que de nombreux auteurs les ont assimilées à de super-organismes. Les ouvrières sont amenées à prendre, à l'unisson, différentes décisions quant à l'organisation de la colonie. Ces décisions peuvent concerner : la recherche d'une source de nourriture, le transfert ou non d'un nid en cas d'attaque, le nombre de reproducteur mâles et femelles qu'elles doivent élever (Chauvin, 2015). Ces informations circulent au moyen de mécanismes de communication très élaborés. La communication chez les fourmis peut-être de différentes natures. Parmi les cinq canaux de communication connus dans le monde vivant, à savoir chimique, acoustique, visuel, tactile et électrique, les fourmis sont capables d'utiliser les quatre premiers.

• **La communication tactile** : chez la plupart des espèces certains types de messages, simples et directs, sont transmis par rapport physique comme par attouchement, tapotement ou bien effleurement. Une grande majorité de ce type de communication est réalisée par l'intermédiaire des antennes qui sont sensibles au toucher. Par exemple lorsque deux fourmis se rencontrent, elles procèdent à quelques attouchements d'antennes ou de pattes, et se reconnaissent aussitôt comme membres de la même fourmilière.

• **La communication sonore** : le signal sonore est un crissement aigu, dû aux frottements d'un mince grattoir transversal situé sur les pattes arrières contre un plateau de fines crêtes parallèles situé sur la surface adjacente de l'abdomen. Cette stridulation peut remplir différentes fonctions selon l'espèce et les circonstances. Les fourmis peuvent également utiliser des stimuli vibratoires comme moyen de communication en frappant les parois de la fourmilière avec leur abdomen pour prévenir les autres. Elles tapotent aussi leurs antennes pour se parler. Ce signal est utilisé en fonction de l'espèce comme signal de détresse en cas de danger, comme signal de qualité de l'alimentation pour le recrutement pour une source de nourriture et comme signal de demande d'aide au cas où la nourriture trouvée est de grande taille.

• **La communication visuelle** : elle était une des formes couramment utilisées au stade primaire de l'évolution. Elle est de moins en moins utilisée du fait de l'évolution considérable des fourmis qui implique une communication chimique plus efficace. Cependant certaines espèces s'en servent encore pour des situations bien particulières. Ce type de communication permet par exemple aux fourmis de retrouver leur chemin, guidées par des marqueurs visuels.

• **La communication chimique** : c'est le canal le plus utilisé et le plus complexe. Il est régi dans la quasi-totalité des cas par les phéromones. Ce sont des substances chimiques odorantes, secrétées par des glandes. Elles sont détectées par les antennes. Ce signal chimique porte l'information à la fois sur l'espèce, la société mais aussi la caste et le stade de développement auxquelles appartiennent les fourmis rencontrées. C'est en sécrétant cette substance qu'une fourmi éclaireuse marque le chemin qu'elle a utilisé et revient avertir ses pairs de la présence de nourriture ou d'un danger, ainsi que de sa localisation. C'est le moyen de communication le plus efficace et le plus utilisé par toutes les espèces de fourmis.

1.6.4. Importance écologique des fourmis

Les fourmis sont des insectes qui ont une importance considérable sur le plan écologique. La forte diversité des fourmis et leur présence dans la quasi totalité des écosystèmes terrestres et le fait qu'elles constituent une part importante de la biomasse animale, reflètent l'importance de leur succès écologique (Hölldobler & Wilson, 1990). Par la diversité de leurs modes de vie, les fourmis jouent un rôle primordial au sein des écosystèmes terrestres : ce sont des « espèces clés de voûte » ou « Keystones species » (Bond 1993, Hölldobler & Wilson 1990). Les fourmis occupent un large éventail de niches écologiques, pouvant être herbivores, prédateurs, charognards, mutualistes, parasites mais aussi éleveurs de plantes, de

champignons et même d'insectes. Elles régulent les populations de nombreux autres insectes et sont des éboueurs qui font disparaître les cadavres d'insectes ou de petits animaux, des pollinisateurs et des acteurs essentiels dans la dispersion des graines et l'enrichissement des sols (Floren *et al.*, 2002). Les fourmis jouent aussi un rôle important sur les propriétés physiques des sols dans les écosystèmes de savane. Elles remontent en surface une quantité importante de sol. Leurs actions sur les propriétés physiques des sols augmentent les capacités d'infiltration de l'eau (Majer *et al.*, 1987). Catangui *et al.* (1996) ont constaté que la répartition et l'abondance des espèces de fourmis sont influencées par les propriétés physico-chimiques du sol. Les galeries qu'elles font jouent un rôle dans la structure physique du sol (Greenslade & Greenslade, 1984 cités par Jackson & Fox, 1996). Lyford (1963) et Abe (1982) ont montré que dans certaines forêts tropicales, l'action des fourmis dans le remaniement du sol, peut dépasser celle des vers de terre. Certaines fourmis, en particulier les genres *Camponotus* et *Formica*, servent de nourriture à des oiseaux comme les pics et ours (Francoeur, 1997 ; Gosswald, 1990). La présence et l'abondance de fourmis comme *Lasius neoniger* et *Tapinoma sessile*, peuvent servir d'indicateurs de l'état des milieux dont la végétation se dégrade sous l'impact des activités humaines (Francoeur & Jobin, 1968).

1.6.5. Fourmis dans le milieu agricole

Certaines fourmis sont dites nuisibles à cause de leur régime alimentaire phytophage ou parce qu'elles favorisent l'installation des homoptères. D'autres sont utiles à l'agriculture comme celles ayant un régime alimentaire carnassier (insectivores). Cette importance est surtout perçue en agriculture par exemple dans les cultures cacaoyères.

1.6.5.1. Fourmis comme agent de lutte biologique

Les fourmis sont utilisées comme agent de lutte biologique dans diverses plantations. Elles protègent avec efficacité les plantations de cocotiers, de caféiers ou d'eucalyptus (Way & Khoo, 1992). La lutte biologique générée par les oecophylles africaines dans les plantations de cacaoyers peut réduire de 60% les dégâts des ravageurs comme *Salbergella singularis*, *Distantella theobroma* et *Helopeltis spp.* (Van Wijngaarden *et al.*, 2007). L'utilisation des fourmis comme agent de lutte biologique a également été prouvé dans des plantations de cacaoyers au Ghana. Les travaux de Campbell (1994) ont montré que la présence de certaines espèces de fourmis comme *Oecophylla longinoda* et *Tetramorium aculeatum*, était négativement et significativement corrélée avec les dégâts de capsules fraîches.

1.6.5.2. Fourmis nuisibles

Plusieurs études ont montré que les fourmis sont responsables de dégâts directs ou indirects sur des cultures ou sur des plantes. Les dommages indirects sont causés par les fourmis entretenant les pucerons ou les cochenilles. D'après Piguët (1960), les fourmis peuvent causer des dégâts en s'attaquant par leurs mandibules aux tous jeunes bourgeons et aux boutons floraux. En Amérique, les fourmis « coupe-feuille » de la sous-famille des Myrmicinae, défeuillent de nombreuses plantes. Parmi ces fourmis, nous retrouvons *Acromyrmex octospinosus*, *Atta sexdens* et *Atta insularis* qui attaquent principalement les dicotylédones (café, cacao...) et de nombreux arbres forestiers (Jolivet, 1986). Les fourmis moissonneuses sont souvent citées comme responsables de déprédation dans les champs de céréales ainsi que de destruction des graines ensemencées d'avoine. En Afrique du nord, elles ont été mises en cause dans la collecte des récoltes dans leurs nids. Les services agricoles algériens estimaient que plus de 10% des graines de céréales des hauts-plateaux passent dans les greniers des *Messor barbarus* (Bernard, 1968). En plus des attaques directes des fourmis sur les plantes, il est presque certain que les fourmis transportent des maladies virales, bactériennes ou fongiques d'une plante à une autre ; bien que le degré de leur participation soit difficile à évaluer (Jolivet, 1986). De plus, les relations de mutualisme entre les fourmis et les pucerons peuvent être la cause de la transmission de nombreuses maladies aux plantes cultivées (Jolivet, 1986). Par exemple, la fourmi *Tapinoma simrothi* entretient des pucerons et des coccidies sur la plupart des végétaux. Le nombre de fourmis varie de 10 à 1900 femelles par plante (Bernard, 1976). Elle constitue, de ce fait, un réel danger pour les cultures des plaines en Algérie (Dartigues, 1988). En Côte d'Ivoire, Babacauh (1982) a montré que la fourmi *Pheidole megacephala* est impliquée dans le processus de contamination des cabosses de cacao par le champignon *Phytophthora palmivora*.

1.6.6. Répartition des fourmis dans le monde

Grâce à leur organisation en société qui est un modèle du genre et soutenue par un système de communication très efficace, grâce à leur faculté d'adaptation à l'environnement, les fourmis ont réussi à coloniser presque la terre entière (Djioua, 2011). Elles sont présentes dans tous les habitats terrestres du monde sauf le Groenland et l'Antarctique (habitats glaciaux). Leurs habitats de prédilection restent, malgré tout, les régions tropicales connues pour la richesse de leur faune et la très grande variété de leurs espèces de fourmis. La première carte interactive montrant la répartition des différentes espèces de fourmis dans le monde, a été mise en ligne en août 2015 par l'University of Hong Kong afin de mettre en lumière le monde des insectes

et la richesse de la biodiversité (Figure 11). Des chercheurs (Dr Guénard et Dr Economo) ont travaillé à l'élaboration de cette carte de répartition mondiale des fourmis baptisée « antsmap » et consultable en ligne (<http://antmaps.org/>). La carte donne l'emplacement de 15000 espèces répertoriées, dont 1400 se trouvent dans l'Etat du Queensland en Australie contre 367 en Côte d'Ivoire.

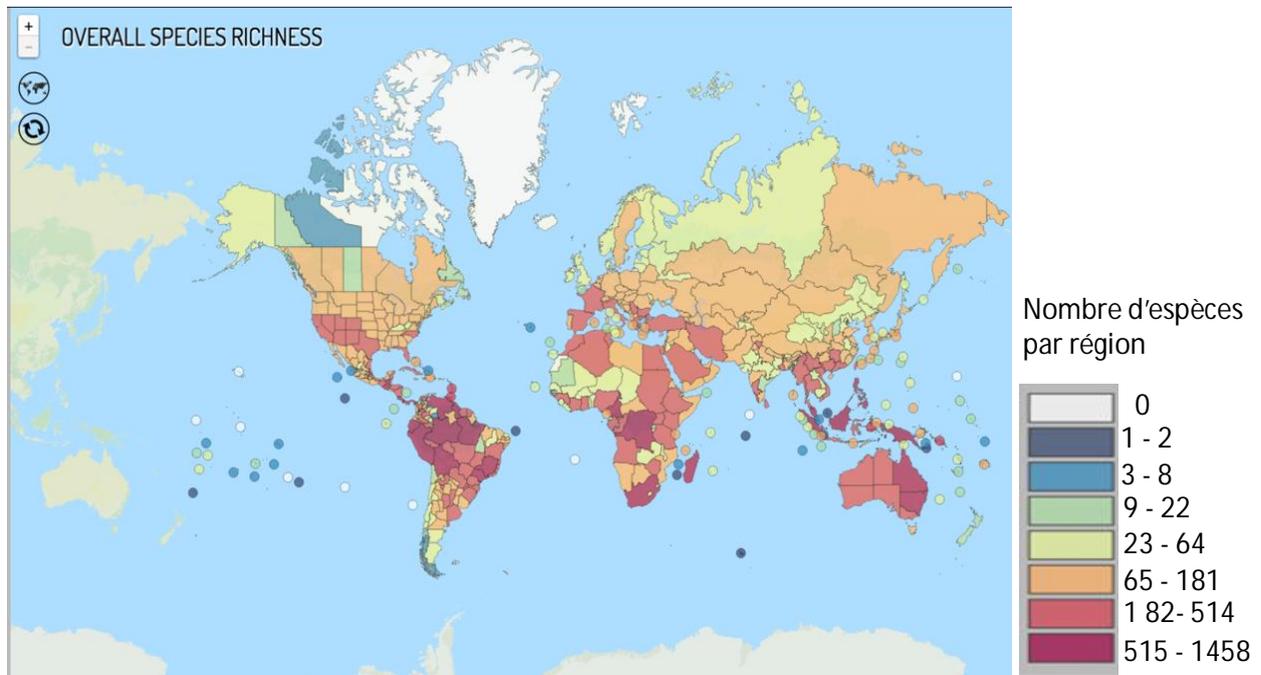


Figure 11 : Répartition des fourmis dans le monde (Guénard & Economo, 2015)

1.6.7. Travaux antérieurs sur les Fourmis en Côte d'Ivoire

Les premières études sur la myrmécofaune en Côte d'Ivoire fut initiées par Lévieux (1971), Delage-Darchen (1971) et Diomandé (1981). Le premier auteur a étudié la structure spatiale des communautés de fourmis terricoles en savane et leur rôle dans les réseaux trophiques. Il s'est aussi intéressé à la nutrition de plusieurs espèces de fourmis savaniques. Par contre Delage-Darchen s'est penché sur l'écologie des fourmis de la strate herbacée et arborée de Lamto. Diomandé a mis l'accent sur le comportement de chasse de quelques espèces de fourmis. Il a ensuite étendu son étude à la comparaison de milieux intacts et perturbés dans le contexte forestier dense. Rappelons également que Leroux (1982) a étudié l'écologie des populations de la sous-famille des Dorylinae pendant que Meßner (1996) mena une étude sur la biodiversité des fourmis dans le Parc National de la Comoé. A partir de 2005, plusieurs chercheurs se sont lancés dans la myrmécologie. Konaté *et al.* (2005) et Yéo (2006) ont également effectué des travaux sur la myrmécofaune. Ces travaux portent sur la diversité et les rôles écologiques des fourmis terricoles pour les premiers auteurs tandis que le second à

étudié la dynamique spatiale et la diversité des fourmis de la litière et du sol dans la zone de transition forêt-savane de Lamto. Des études plus récentes (Kouakou, 2010 ; Ouattara, 2012 ; Yodé, 2015 ; Yéo *et al.*, 2016 ; Kouadio, 2015 ; Kouakou *et al.*, 2018) sur la myrmécofaune ont été effectuées. Leurs travaux ont porté sur la diversité, l'impact des activités humaines et des feux de brousses sur les communautés de fourmis aussi bien dans leur habitat naturel qu'en zone urbaine.

1.7. FIENTE DE POULE

1.7.1. Notion de fertilisation

Selon Falisse & Lambert (1994), la fertilisation est un ensemble de pratiques culturelles coordonnées ayant pour objectif d'assurer aux plantes cultivées une alimentation correcte en éléments nutritifs par des apports de matières fertilisantes (engrais). En fertilisation une bonne connaissance de l'état physique et chimique du sol est nécessaire pour rechercher et corriger les carences. Deux types de fertilisation sont généralement conseillés : la fumure organique et la fumure minérale.

1.7.2. Fertilisation à la fiente de poule

Les fientes sont les déjections avicoles constituées de fèces, d'urines, de plumes, d'œufs ou coquilles, et de litière. C'est un mélange hétérogène. Les fientes présentent un aspect qui varie en fonction de leur humidité. Pour un taux d'humidité variant entre 15% à 20%, elles présentent un aspect sec poussiéreux, gris clair et sont volontiers appelées « fumiers ». Elles concernent les volailles de chair. A 70% d'humidité, elles sont visqueuses, magmatiques, et très foncées, il s'agit alors de fientes de poules pondeuses (Lekefack, 2015). Le fumier de poule est un engrais naturellement nourrissant pour les plantes. Riche en éléments nutritifs comme l'azote, le phosphore, le calcium, le potassium et le magnésium, il est reconnu, depuis longtemps, pour ses excellentes propriétés favorisant la croissance des végétaux (Onana-Onana, 2006). Dans le sol, le fumier de poule contribue à alimenter la plante en éléments nutritifs majeurs tels que l'azote, le phosphore et le potassium. L'azote favorise la végétation, accélère la croissance de la plante et donne une bonne coloration verte aux feuilles. Le phosphore, quant à lui, favorise le développement des racines et des bulbes et exerce une action accélérante sur la maturité des fruits, légumes et céréales. La potasse rend la plante vigoureuse ce qui lui permet de mieux résister à la sécheresse et aux attaques des maladies. Le fumier est aussi une source de micro-éléments parmi lesquels le zinc, le cuivre, le soufre et le bore. Le fumier de poule n'apporte pas seulement des éléments nutritifs. La matière organique

issue de la fiente de poulet protège les plantules contre l'ensevelissement lors de tempêtes et réduit l'encroûtement de la couche superficielle du sol (Bationo & Buerkert, 2001). La matière organique est reconnue être le facteur principal des agrosystèmes car elle crée un environnement favorable à la production végétale à travers son impact sur les paramètres physiques, chimiques et biologiques du sol (Traoré, 2012). Sa décomposition produit l'humus, très utile pour la consistance du sol qui devient meuble et perméable à l'air et aux racines. L'humus retient parfaitement l'eau d'arrosage et les engrais qui, sans lui, ne seraient pas retenus dans le sol. L'humus participe aussi au maintien de l'activité biologique dans le sol. Il constitue, en effet, un substrat pour le développement des vers de terre, des bactéries et des champignons. Le fumier de poule est aussi un amendement organique pour les sols dont le potentiel hydrogène (pH) est généralement basique ou alcalin. De par sa teneur élevée en bases, le fumier de poule permet de relever le pH du sol, ce qui crée un environnement favorable à une bonne nutrition de la plante et à une bonne activité biologique dans le sol. De plus, l'avantage de la fiente de poulet se manifeste par des rendements plus élevés et une réduction des dépenses des agriculteurs pour l'achat d'engrais minéraux (FAO, 2005). En effet, la fiente de poule coûte moins cher pour les agriculteurs. A titre d'exemple, le sac de 50 - 60 kg de fiente de poulet se négocie entre 2000 et 4500 FCFA dans les villages, comparé à 17500 FCFA voir 20000 FCFA pour un sac de 50 kg d'engrais minéral. La quantité totale et le prix du sac indiquent le potentiel et la valeur économique de la fiente de poule.

Dans ce contexte de réduction de la fertilité des sols et de la hausse des prix des engrais sur les marchés, il apparaît nécessaire d'utiliser pour l'agriculture les nutriments disponibles et à faible coût (Useni *et al.*, 2013). En Côte d'Ivoire, le modèle de culture extensif étant de moins en moins présent car la ressource forestière permettant la création de nouvelles plantations est devenue plus rare, les producteurs sont donc à la recherche de moyens pour intensifier leurs plantations existantes. C'est ainsi qu'à partir des années 1990, une poignée de planteurs villageois de l'Ouest du pays découvrent l'utilité de la fiente de poulet pour leurs cacaoyers chétifs, plantés sur des sols peu favorables (Ruf & Kiendré, 2016). Dès lors, convaincus du bienfait de la fiente de poulet sur leurs cacaoyères, les producteurs ont recouru de plus en plus à la fiente de poulet pour la fertilisation de leurs parcelles cacaoyères. Selon Ruf & Kiendré (2016), des cacaoyères de 20 ans fertilisées à des doses élevées de fiente de poulet peuvent facilement atteindre des rendements de 1000 à 1500 kg par hectare. Les premières évaluations d'impact sur les rendements effectués par l'auteur suggèrent une efficacité supérieure aux engrais chimiques. Ainsi, une adoption plus intense de la fumure organique a été observée

lors de la forte augmentation du prix de l'engrais en 2008. Au cours des années 2010, de nombreux planteurs à l'ouest du pays ont utilisé de la fiente de poulet et au moins 15% de la production nationale dépendait de cette fertilisation. Dans certaines zones comme Duékoué et Soubré où les types de sols ne sont pas très favorables aux vieillissements des cacaoyers, l'adoption de cette nouvelle pratique y est encore plus importante. Dans la région de Duékoué, la proportion d'adoptants approche les 80% (Ruf *et al.*, 2015). La fiente de poulet est produite en grande partie dans la région Est et distribuée à travers tout le pays (Figure 12). Elle est généralement appliquée dans les cacaoyères en la mélangeant avec la terre et les feuilles présentes sur le sol ou autour de chaque pied de cacao, à la distance d'une machette du tronc du cacaoyer, afin de favoriser la pousse des racines latérales. Certains producteurs épandent la fiente de poulet en ligne entre les cacaoyers. Il est estimé qu'il faut environ 44 sacs de fiente « boro » (environ 70 kg le sac) pour fertiliser une parcelle d'un hectare (Ruf & Kiendré, 2015). Mais les producteurs qui ont adoptés la fiente de poulet comme fertilisant, appliquent en moyenne 10 sacs par an sur leur exploitation de taille moyenne 4 ha (Ruf *et al.*, 2015). La quantité de fiente appliquée par certains producteurs est généralement en dessous de la quantité recommandée, et cela est dû au manque de moyen. Par exemple, à l'ouest du pays dans la région de Duékoué et de Guiglo, sous l'effet de la demande spécifique, le sac de 50 kg qui s'achetait entre 1500 et 2000 Fcfa est passé progressivement entre 3500 à 4500 Fcfa à la fin des années 2000 (Ruf *et al.*, 2015).

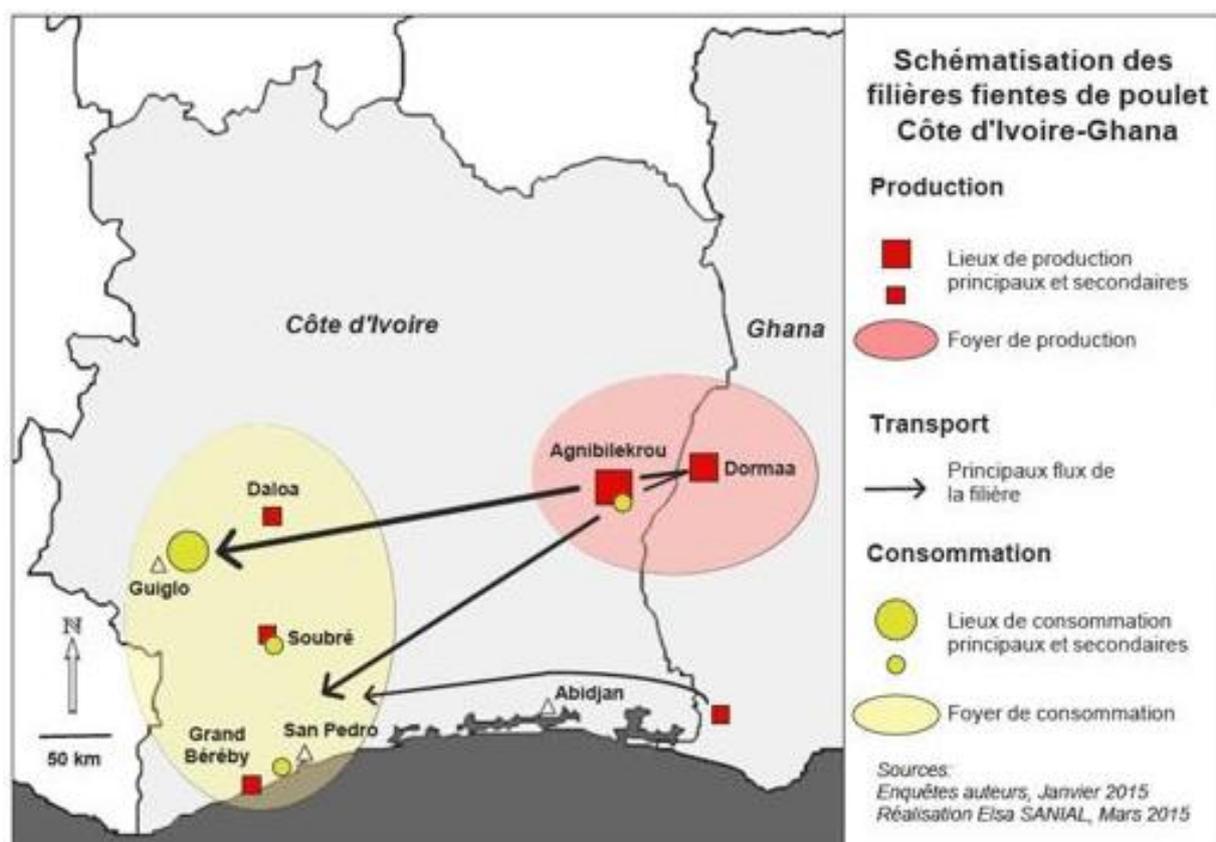


Figure 12 : Schématisation des filières « fiente de poulet » en Côte d'Ivoire (Ruf *et al.*, 2015)

**DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET
METHODES**

2.1. MATERIEL

Le matériel utilisé est composé du matériel biologique et du matériel technique.

2.1.1. Matériel biologique

Le matériel biologique est composé de matériel animal, de matériel végétal et de matériel organique. Le matériel animal porte sur les termites et les fourmis prélevés sur les parcelles tandis que le matériel végétal est constitué des cacaoyers et des arbres associés aux cacaoyers. Le matériel organique est constitué de la fiente de poule.

2.1.2. Matériel technique

Il s'agit du matériel ayant servi à l'échantillonnage, à la conservation, à l'observation et à l'identification des espèces de termites et de fourmis. Le matériel technique est composé de matériel technique de terrain et de matériel technique de laboratoire.

Le matériel de terrain comprend (Figure 13): un dendromètre (Sunto) utilisé pour la mesure de la hauteur des ligneux ; un GPS « Garmin GPSMAP 64s » contenant une boussole de visée pour l'orientation du transect ; un appareil photo numérique (marque Sony) pour la prise d'images illustratives ; une balance électronique (SCA-301) pour la pesée des cabosses de cacao; un sécateur pour le prélèvement des échantillons floristique ; des parapluies japonais pour capturer les fourmis sur les cacaoyers de grande taille; des dabas et des pioches pour creuser les monolithes ; un décamètre (100 m) pour mesurer la longueur des transects ; un ruban-mètre pour mesurer la circonférence des ligneux ; un sac en matière plastique pour le transport des échantillons ; des journaux pour la confection des herbiers ; des rubans colorés pour matérialiser les transects et délimiter les quadrats ; des truelles pour la fouille de la litière avant de creuser les mottes de sol ; des plateaux de tri pour la collecte de la faune ; des pinces souples pour la prise des insectes lors de la collecte ; des piluliers dans lesquels sont mis les insectes collectés et de l'alcool pour la conservation des échantillons de la faune.

Le matériel de laboratoire (Figure 14) est composé d'une loupe binoculaire de marque LEICA EZ4 pour l'identification des insectes, de la liste ethnobotanique sur la flore ivoirienne et de nombreux manuels d'identification tels que Sjöstedt (1925) ; Emerson (1928), Ahmad (1950) ; Sands (1959) ; Bouillon & Mathot (1965) ; Sands (1965) ; Roy-Noël (1966) ; Harris (1966, 1968) ; Ruelle (1970) ; Sands (1972) ; Grassé (1986) ; Sands (1992) pour les termites. Les clés de détermination de Bolton (1994) ont permis d'identifier les fourmis au niveau du genre. L'identification au niveau spécifique à été faite à partir des clés de Bolton

(1974, 1982, 1983, 1986, 1987, 1995, 2000, 2003) ; Bolton *et al.* (1976); Bolton & Brown (2002) ; Bolton & Fisher (2011) et Agosti & Johnson (2005). Le site www.antweb.org a également été consulté.



Figure 13: Quelques éléments du matériel technique d'échantillonnage

A: Dendromètre de Suunto; **B:** Balance électronique; **C:** GPS; **D:** Tube Eppendorf; **E:** Pince entomologique; **F :** Sécateur; **G:** Parapluie japonais.



Figure 14 : Loupe binoculaire utilisée pour l'identification des échantillons

2.2. METHODES

2.2.1. Parcelles d'études

L'étude a été réalisée dans quatre différents systèmes de culture cacaoyère. Quatre localités ont été choisies et un système de culture représentait chaque localité. Dans chaque localité, quatre plantations de cacao ont été sélectionnées. Au total, 16 cacaoyères ont été sélectionnées pour l'ensemble de l'étude. Quatre quadrats de 30 m x 30 m ont été installés dans chaque cacaoyère pour la collecte des données fauniques et floristiques. Les parcelles ont été choisies en fonction de caractéristiques bien spécifiques. Il s'agissait de parcelles allant du système plein soleil (sans ombrage) au système ombragé en passant par les systèmes intermédiaires. L'âge des parcelles varie de 4 à 40 ans. Les cacaoyères sont des exploitations familiales et leurs tailles varient.

2.2.1.1. Système sans ombrage ou plein soleil

C'est dans la localité de Takoragui qu'a été sélectionné le système plein soleil ou sans ombrage. Dans ces parcelles sans ombrages, le nombre d'arbre à l'intérieur de chaque quadrat était inférieur à cinq, soit une équivalence de moins de 56 arbres à l'hectare.

2.2.1.2. Système ombragé

Les parcelles du système ombragé ont été choisies dans la localité de Gnaboya (V4). Dans ce système, le nombre d'arbres dans le quadrat étaient supérieur ou égal à 10 arbres soit un nombre d'arbres supérieur ou égal à 112 arbres par hectare.

2.2.1.3. Système intermédiaire 1

La localité de Petit Bouaké est représentée par le système intermédiaire 1. C'est un système compris entre les deux extrêmes c'est-à-dire entre le système sans ombrage et le système ombragé. Ce système avait pour caractéristique des arbres compris entre cinq et six dans le quadrat soit une équivalence de 56 à 67 arbres à l'hectare.

2.2.1.4. Système intermédiaire 2

La localité de Bobouho 1 représente le système intrmédiaire 2. A l'instar du premier système intermédiaire, le second système intermédiaire est également compris entre le système sans ombrage et le système ombragé. La différence est que ce second système est plus proche du système ombragé alors que le premier système intermédiaire est proche du système sans ombrage. Dans ce système, le nombre d'arbres était compris entre sept et neuf par quadrat, soit entre 78 et 100 arbres à l'hectare.

2.2.2. Collecte des données floristiques

La méthode de relevé de surface a été utilisée pour la collecte des espèces floristiques. Cette méthode consiste à recenser tous les taxons rencontrés sur des superficies carrées, rectangulaires ou circulaires, dans l'objectif d'identifier un maximum d'espèces (Kouamé, 2009). Quatre placettes carrées de côté 30 m chacune ont été installées dans chaque cacaoyère. Dans le but d'établir la liste des ligneux dans chaque placette de 30 m x 30 m, toutes les espèces d'arbres et d'arbustes ayant un diamètre d'au moins 10 cm à hauteur de poitrine ont été marquées, numérotées et mesurées individuellement à l'intérieur de chaque quadrat. Ainsi pour chaque arbre ou arbuste, le nom scientifique, et/ou vernaculaire, le diamètre, la hauteur et le diamètre de la canopée ont été déterminés.

2.2.3. Echantillonnage des termites

Deux approches ont été adoptées pour évaluer la diversité et l'activité des termites : i) la collecte des termites de la litière et, ii) la collecte sur les cacaoyers.

2.2.3.1. Collecte des termites de la litière

Cet échantillonnage est basé sur la méthode standardisée des transects termites (Jones & Eggleton, 2000). Elle consiste à délimiter et à collecter les termites dans 20 sections de 10 m² (5 m x 2 m) de surface le long d'un transect de 100 m de long et 2 m de large. Il permet d'avoir un échantillon représentatif de la composition taxonomique et de la composition du groupe fonctionnel de l'assemblage local des termites. Cette méthode, conçue pour l'évaluation rapide des termites de la forêt, a été modifiée et utilisée dans les plantations

paysannes de cacao. Quatre transects de 25 m de long et de 2 m de large ont été placés dans les mêmes quadrats de 30 m x 30 m sélectionnés dans chaque parcelle pour la collecte des données floristiques (Figure 15). Chaque transect est subdivisé en 5 sections de 5 m x 2 m (10 m²). La fouille s'est faite par sections successives en deux étapes (Jones & Eggleton, 2000). Premièrement, dans chaque section, une demi-heure a été consacrée à la recherche de termites dans les micro-habitats (brindilles, feuilles mortes, branches tombées, etc ...) à la surface du sol au niveau de la litière. Dans la seconde étape, un prélèvement aléatoire de 12 mottes de terre (monolithes) de dimensions égales à 12 cm x 12 cm x 10 cm a été effectué dans chaque section. Chaque section est ainsi fouillée minutieusement par deux personnes. Les termites sont collectés dans des piluliers étiquetés contenant de l'alcool à 70% (Sangare & Bodot, 1980). Afin d'échantillonner l'ensemble des transects du quadrat en une seule journée, deux équipes de deux personnes ont été constituées ; chaque équipe avait la charge d'échantillonner 10 sections.

2.2.3.2. Collecte des termites sur les cacaoyers

Pour la deuxième approche, l'échantillonnage des termites s'est fait directement sur différents plants de cacaoyers (cacaoyers jeunes, cacaoyers matures et cacaoyers âgés). L'échantillonnage est effectué dans des quadrats de 30m x 30m de chaque plantation de cacaoyers sélectionnée. Pour chaque unité d'échantillonnage, les termites ont été récoltés sur les tiges et les branches des cacaoyers jusqu'à une hauteur de 2 m du sol. Les fissures, les galeries et les nids présents sur les cacaoyers ont également été examinés. Tous les spécimens de termites échantillonnés ont été identifiés (nom scientifique, groupe trophique, etc.) et analysés.

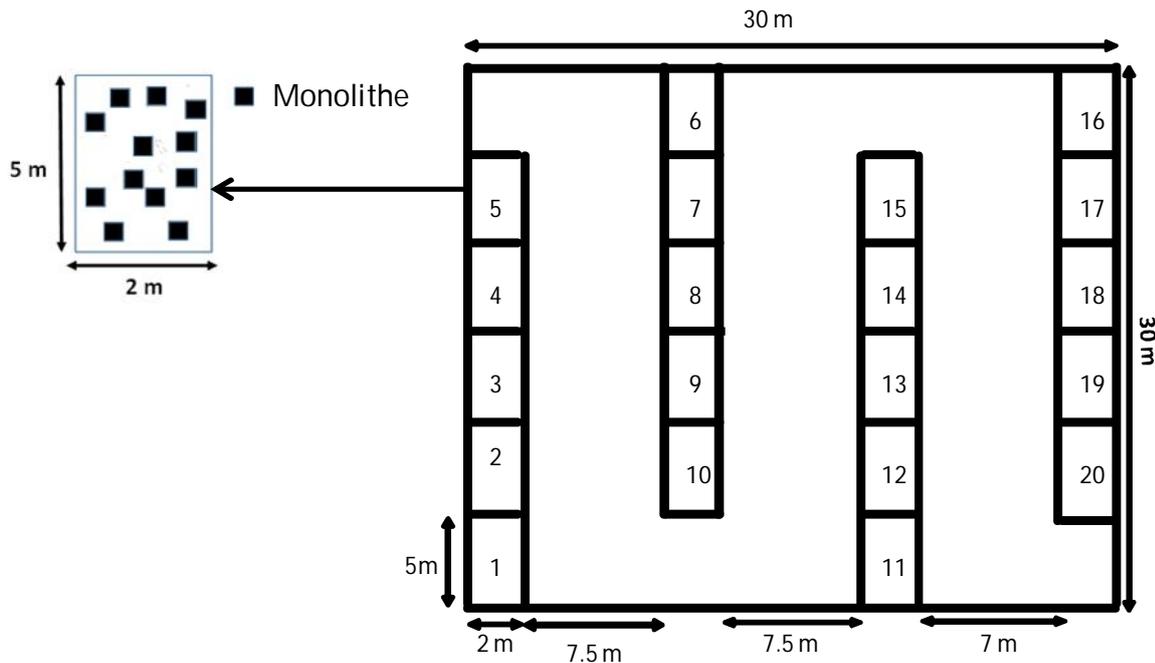


Figure 15: Dispositif d'échantillonnage des termites

2.2.4. Echantillonnage des fourmis

Pour l'échantillonnage des fourmis, deux types de méthodes ont été utilisées. Il s'agit de la méthode des appâts alimentaires pour la collecte des fourmis de la litière et la méthode du battage du feuillage (*Beating*) des cacaoyers pour les fourmis arboricoles.

2.2.4.1. Méthode des appâts

La méthode des appâts est une méthode standardisée qui a été utilisée pour échantillonner les fourmis de la litière (kouakou et al., 2018). Elle a consisté à disposer des appâts alimentaires sur 10 points d'échantillonnage dans chaque quadrat avec des intervalles variables de 10 m, de 7,5 m ou de 5 m entre les appâts afin d'attirer les fourmis (Figure 16). Les appâts étaient des pâtes constituées d'un mélange de sucre, de miel et de thon déposés sur une feuille et placés au sol (Figure 17), puis le cacaoyer le plus proche a été marqué avec un ruban de balise pour repérer rapidement l'appât lors des tours de collecte. Les appâts ont été observés toutes les 15 minutes pendant une heure. Pour chaque espèce de fourmis s'alimentant sur les appâts, 5 à 10 spécimens ont été capturés avec des pinces (Bisseleua *et al.*, 2013). Les échantillons collectés ont été conservés dans de l'alcool à 90° puis l'identification a été faite jusqu'au niveau de l'espèce.

2.2.4.2. Méthode du battage du feuillage (Beating)

Cette technique a été appliquée en complément de la méthode des appâts alimentaires. Elle a consisté à choisir de façon aléatoire 10 cacaoyers portant des fourmis dans chaque quadrat de 30 m x 30 m sur lesquels a été effectuée la collecte. A l'aide d'un parapluie japonais et d'un bâton long de 2 m, on bat le feuillage des cacaoyers au-dessus du tissu (Figure 18). Les fourmis débusquées tombent sur le tissu et sont collectées à la pince. Des prélèvements directs de fourmis sur les cacaoyers ont été également effectués lorsque cela était possible. Les fourmis ont été ramassées puis mises dans un même pilulier étiqueté contenant l'alcool à 90°C et portant le code de la parcelle, du quadrat et le numéro du cacaoyer échantillonné.

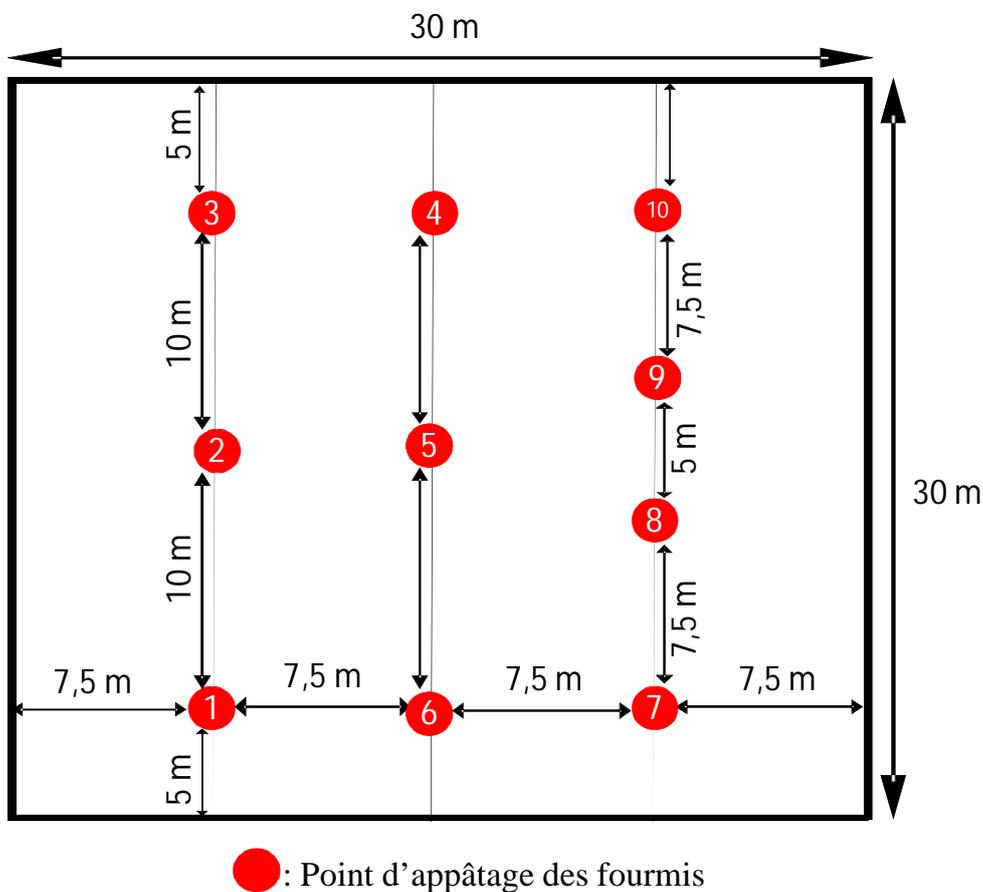


Figure 16 : Dispositif d'échantillonnage des fourmis de la litière



Figure 17 : Appât couvert de fourmis



Figure 18 : Technique de battage des feuilles à l'aide d'un baton et du parapluie japonais

2.2.5. Méthode de détermination de l'effet des attaques de termites sur le rendement en cacao marchand

Trois variétés de cacao sont principalement cultivées dans les parcelles de la zone d'étude. Il s'agit des variétés « Français » (Amelonado), « Ghana » (Forasteros) et « Mercedes » (Hybride). La variété « Ghana » reste la plus cultivée dans les plantations suivie de la variété « Français » qui est généralement en association avec la variété « Ghana ». La variété « Mercedes » se retrouve également cultivée en association avec les deux autres mais à des superficies moindres que les deux premières. Dans les parcelles de Takoragui (système sans ombrage), la variété « Ghana » est cultivée dans trois parcelles tandis que la variété « Mercedes » est utilisée dans la quatrième parcelle en association avec les variétés « Ghana » et « Français ». Dans les systèmes intermédiaires, hormis dans une parcelle de bobouho 1 où le cacao « Mercedes » est cultivé, c'est la variété « Ghana » qui est la plus cultivée souvent en association avec la variété « Français ». Il en est de même pour la localité de Gnaboya où seule une parcelle contenait la variété « Mercedes ». Les autres parcelles sont constituées de la variété « Ghana ».

Le rendement a été évalué en choisissant dix cacaoyers infestés et dix cacaoyers non infestés dans chaque quadrat de 30 m x 30 m. De part et d'autre des cacaoyers choisis, trois cabosses ont été prélevées sur chaque cacaoyer et leur masse a été déterminée tout en dénombrant le nombre de cabosses par cacaoyer. Les cabosses sont cassées puis la masse des fèves fraîches a été déterminée ainsi que le nombre de fèves par cabosse. Pour déterminer le rendement, les fèves des cacaoyers infectés ont été séparées des fèves des cacaoyers sains et pesées séparément. Le rendement potentiel en cacao marchand (en kg) a été estimé suivant l'équation :

$$\boxed{\mathbf{Rdtcm = (Nbcab \times Pdf \times Ct) \times d}} \quad (1)$$

Où

Rdtcm : rendement potentiel en cacao marchand (kg)

Nbcab : nombre moyen de cabosses par cacaoyer,

Pdf : poids moyen des fèves fraîches par cabosse (kg),

Ct : coefficient de transformation poids de fèves fraîches/poids de cacao marchand

d : nombre de cacaoyers / ha.

2.2.6. Méthode de fertilisation à la fiente de poule

Dans chaque système d'ombrage, une parcelle a été choisie pour être fertilisée. La fertilisation a été effectuée dans chaque quadrat de chaque parcelle. Les producteurs appliquent la fiente de poulet en la mélangeant avec la terre et les feuilles présentes sur le sol. Dans la plupart des cas, la fiente est appliquée à environ 50 cm autour de chaque pied de cacao, afin de favoriser la pousse des racines latérales. Certains producteurs épandent la fiente en ligne entre les cacaoyers. La fiente de poulet a été appliquée autour de chaque cacaoyer (Figure 19). Quatre sacs de fiente d'environ 60 kg ont été utilisés dans chaque quadrat de 30 m x 30 m, soit environ 45 sacs de fiente à l'hectare (2,7 tonnes / ha).



Figure 19 : Fertilisation d'un cacaoyer à la fiente de poule

2.2.7. Identification des échantillons

2.2.7.1. Identification des espèces floristiques

Dans le but d'établir la liste floristique dans chaque placette, toutes les espèces-de ligneux rencontrées ont été recensées. Les espèces ont été identifiées sur place à partir des noms vernaculaires et/ou scientifiques fournis par les producteurs et des techniciens. Les espèces dont l'identification était impossibles sur le terrain, ont été récoltées puis constituées en herbier pour être identifié au laboratoire. Dans certains cas où les espèces ligneuses étaient de très grande taille et dont les feuilles étaient inaccessibles, des prélèvements de l'écorce, la photographie des feuilles et de la tige ont été effectués pour l'identification.

2.2.7.2. Identification des termites

Les termites ont été d'abord déterminés jusqu'au niveau du genre, puis à l'espèce, en se référant à la description faite par Bouillon & Mathot (1965 ; 1966) et à l'utilisation de différentes clés d'identification dont Sjöstedt (1925, 1926), Emerson (1928), Ahmad (1950), Sands (1959, 1972, 1992, 1998), Roy-Noel (1966), Harris (1966, 1968), Ruelle (1970) et Grassé (1986). Après l'identification, chaque espèce a été classée dans un des quatre groupes trophiques (les champignonnistes, les humivores, les fourrageurs et les xylophages) en tenant compte de l'alimentation.

2.2.7.3. Montage et identification des fourmis

Pour faire une identification correcte, il est nécessaire de procéder avant tout, au montage des fourmis. Cette opération consiste à coller les spécimens sur des paillettes triangulaires en papier de type « canson », à l'aide d'une colle spéciale à bois (de type Titebond) qui est hydrosoluble (Yéo, 2006). Les paillettes sont épinglées à leur tour sur des pointes entomologiques. La méthode de montage utilisée comprend différentes étapes. D'abord les spécimens à monter sont retiré de l'alcool puis séchés et étalés sur du papier absorbant (ou du papier de toilette). Les spécimens doivent être propres afin que toutes les sculptures superficielles soient clairement visibles ; dans le cas contraire, ils peuvent être lavés à l'eau savonneuse puis rincés à l'alcool avant d'être séchés. Ensuite, les pattes qui sont le plus souvent recroquevillées, sont étendues et les antennes sont retirées des fosses antennaires lorsque celles-ci sont profondes. Les mandibules des spécimens sont ouvertes car la dentition est très importante pour l'identification de certains groupes de fourmis. Les spécimens du même échantillon ou de la même espèce sont alignés sous une loupe binoculaire en les disposant sur le dos, la tête orientée vers soi. La paillette est saisie par la base à l'aide

d'une pince entomologique forte et acérée. Une face de la pointe est trempée dans la colle et le spécimen est touché entre les coxa de la première et la seconde paire de pattes, avec cette face. Celui-ci se colle sur la paillette. La paillette est retournée à l'aide de la pince de manière à avoir le spécimen au-dessus puis la paillette est épinglée sur une pointe entomologique de telle sorte que l'abdomen soit orienté vers soi. Le spécimen est séché pendant 2 à 4 minutes et les pattes sont dirigées vers le bas afin qu'elles n'obstruent pas la vue latérale du spécimen. Enfin, une étiquette (ou les étiquettes) portant les informations de récolte est épinglée. Les spécimens ainsi montés sont conservés dans des boîtes entomologiques en attendant leur identification.

Une partie de l'identification des fourmis a été faite à la Station d'Écologie de Lamto et la seconde partie à l'université Jean Lorougnon Guédé. L'identification consiste à déterminer le genre et l'espèce de chaque fourmi contenue dans les différents échantillons. Elle nécessite au préalable la connaissance de la morphologie des fourmis ainsi que celle de la terminologie utilisée dans les descriptions des espèces par les myrmécologues taxonomistes. Sous une loupe binoculaire, les caractères morphologiques sont observés pour permettre d'abord la détermination des genres en utilisant les clés des genres de fourmis du monde (Bolton, 1994). Il s'agit de la forme de la tête, des mandibules, du pétiole ou/et post-pétiole, du gastre et de la constriction qui sépare le premier segment du gastre. L'absence ou la présence des yeux ainsi que leur position sur la tête, l'absence ou la présence de soie ainsi que leur disposition sur le corps, la longueur totale du corps, le niveau d'insertion des antennes et le nombre d'articles antennaires sont également des caractères morphologiques qui ont été pris en compte. Ensuite, les spécimens du même genre sont à leur tour déterminés jusqu'à l'espèce en utilisant divers documents de classification tels que Bolton (2003, 2000, 1995, 1994, 1987, 1986, 1983, 1982, 1981, 1976, 1975a, 1975b, 1974, 1973) ; Bolton & Brown (2002) ; Bolton *et al.* (1976) ; Brown (1974a, 1974b, 1978). Dans certains cas les descriptions originales téléchargées sur le site Internet « Antbase » (Agosti & Johnson, 2006), ont été employées et souvent la photographie a été utilisée pour déterminer certaines espèces. Les espèces facilement reconnaissables peuvent être identifiées en alcool, dans le cas contraire le montage s'impose. Le montage a l'avantage de présenter une bonne visibilité du dessous de l'abdomen contenant des caractères morphologiques importants pour la détermination chez les Hyménoptères (Villiers, 1977).

2.2.8. Analyse floristique des différents systèmes de cacao

2.2.8.1. Caractéristiques structurales des différents systèmes agroforestiers

La diversité structurale permet d'évaluer l'occupation de l'espace par les espèces végétales dans un biotope. Elle peut être évaluée au niveau horizontal et vertical. La structure végétative exprime l'agencement et la répartition des individus suivant le plan horizontal et vertical. Elle s'exprime à travers de nombreux paramètres dont la densité, l'aire basale la répartition des individus par classe de diamètre, par classe de hauteur, etc.

2.2.8.1.1. Richesse spécifique (S)

La richesse spécifique permet de comparer la richesse floristique des différents biotopes. Elle est déterminée par le nombre total d'espèces inventoriées par groupement végétal, sans juger ni de leur fréquence, ni de leur abondance, ni même de leur taille (Kouamé, 1998).

2.2.8.1.2. Densité moyenne des espèces

La densité (d) est définie comme étant le nombre d'individus par unité de surface (Rollet, 1979). Elle traduit l'occupation du sol par les espèces. Cet indice est déterminé par le nombre de tiges à l'hectare et s'évalue suivant la formule :

$$\boxed{N = n/S} \quad (2)$$

n est le nombre total d'individus inventoriés dans le biotope et S l'aire totale (en hectare) échantillonnée dans le milieu.

2.2.8.1.3. Distribution des individus par classes de diamètre

La distribution des individus par classes de diamètres permet de rendre compte de la structure démographique des peuplements des biotopes. Elle permet aussi d'apprécier le degré de perturbation ou de conservation d'un biotope. Les arbres inventoriés dans chaque milieu sont groupés dans des classes de diamètres pour réaliser l'histogramme des structures diamétriques. Ces classes de diamètres ont été regroupées en classe de 10 cm de diamètres (Kouamé, 1998 ; Wala *et al.*, 2005).

2.2.8.1.4. Aire basale

L'aire basale ou recouvrement basal ou surface terrière représente la somme des surfaces de la section transversale des troncs de tous les arbres d'un relevé si l'on suppose que la coupe se fait à 1,30 m au-dessus du sol (Rollet, 1979). La surface terrière d'un peuplement permet

d'apprécier la stabilité du peuplement et elle est d'autant plus élevée que celui-ci est dense. Elle se calcule grâce à la formule suivante :

$$S = D^2 \times \pi / 4 \quad (3)$$

Avec D: diamètre déterminé à partir de la circonférence.

2.2.8.1.5. Structure verticale de la végétation

La structure de la végétation permet de rendre compte du recouvrement des espèces dans les cacaoyères. La hauteur totale des arbres est un paramètre important à mesurer ou à estimer en vue de déterminer le degré de perturbation indiqué par une strate. Dans le but de comparer les strates des différents systèmes d'agroforêts, la hauteur des arbres a été estimée au sein de ces agroforêts. Trois strates ont été établies en se référant aux travaux de Kouamé (1998) et Bakayoko (1999). Il s'agit de la strate arborée moyenne (4 à 8 m de hauteur), de la strate arborée supérieure (8 à 16 m de hauteur) et de la strate émergente (plus de 16 m de hauteur).

2.2.8.2. Détermination de la biomasse des ligneux

Elle vise à évaluer l'importance des différents systèmes de cacaoculture dans la séquestration du carbone. L'estimation de ce taux de séquestration du carbone se fait par l'intermédiaire du calcul de la biomasse végétale. L'estimation de la biomasse a été effectuée à partir de la méthode allométrique. L'estimation du taux de carbone séquestré s'effectue en calculant la biomasse aérienne, la biomasse souterraine et la biomasse totale.

2.2.8.2.1. Estimation de la biomasse aérienne

La biomasse aérienne (AGB) dans chaque système de culture a été calculée pour les espèces ligneuses à partir du modèle de l'équation de Chave *et al.* (2014). Elle se base sur le diamètre à hauteur de poitrine (DHP), la hauteur de l'arbre et la densité basique du bois. L'expression mathématique de cette équation allométrique est la suivante :

$$AGB_{est} = 0,0673 \times (\rho \text{ DHP}^2 \text{ H})^{0,976} \quad (4)$$

Où AGB_{est} est la biomasse aérienne estimée en Kg ;

DHP est le diamètre à hauteur de poitrine en cm ;

H est la hauteur totale de l'arbre (m) ;

ρ : la densité spécifique du bois ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

Pour les espèces dont la densité n'est pas connue, une valeur par défaut est utilisée ($\rho = 0,58 \text{ g/cm}^3$) en forêts tropicales d'Afrique (Reyes *et al.*, 1992).

2.2.8.2.2. Estimation de la biomasse racinaire

La biomasse souterraine ou racinaire (BGB) est déterminée à partir de l'estimation de la biomasse aérienne. La biomasse racinaire des ligneux sur pied est déterminée en multipliant la valeur de la biomasse aérienne (AGB) par un coefficient R dont la valeur est estimée à 0,24 (GIEC, 2006). On a donc :

$$\text{BGB} = \text{AGB} \times \text{R} \quad (5)$$

Avec **BGB** désignant la biomasse souterraine déterminée en kg,

ABG : biomasse aérienne en kg et **R** : Root to shoot ratio (Fraction racinaire).

2.2.8.2.3. Estimation de la biomasse totale

La biomasse totale (BT) est obtenue en faisant la somme de la biomasse aérienne (ABG) et de la biomasse racinaire (BGB). BT s'exprime aussi en kg.

$$\text{BT} = \text{AGB} + \text{BGB} \quad (6)$$

2.2.8.2.4. Estimation des stocks de carbone et du dioxyde de carbone séquestrés

La biomasse totale estimée à partir des différentes équations a été convertie en stock de carbone séquestré correspondant, en la multipliant par 0,5 (GIEC, 2006).

2.2.8.3. Valeur économique des arbres associés aux cacaoyers des différents SAFc

Le coût financier de la teneur en carbone des ligneux dans les différents SAFc a été estimé. Plusieurs marchés de carbone sont mis en place depuis plusieurs années. Au vu des différents marchés mis en place, le choix a été porté sur les prix des marchés de MDP, des marchés volontaires et de la REDD+. Le prix moyen de vente du crédit forestier est de 3 euros / teq CO_2 pour le MDP, 4,7 euros / teq CO_2 pour les marchés volontaires (Chenost *et al.*, 2010) et 14 euros / tC (valeur faible) ou 100 euros / tC (valeur forte) pour la REDD+ (Boulier & Simon, 2010).

2.2.9. Analyse faunique des différents systèmes de cacao

Les données analysées sont basées sur les incidences (présence ou l'absence des espèces dans les échantillons) en raison du caractère social des termites et des fourmis. Dans ce cas le choix de l'incidence en lieu et place du nombre absolu d'individus, doit être préféré lorsqu'on estime l'abondance des espèces (Andersen, 1991). Ainsi, dans un quadrat donné, l'espèce la plus abondante aura pour incidence totale 20 alors que la moins abondante en aura 1 quelque soit le quadrat.

2.2.9.1. Caractéristiques des attaques de termites sur les cacaoyers

2.2.9.1.1. Estimation des taux d'attaques des termites

Le taux d'attaque des termites est estimé en se basant sur le principe de Han & Ndiaye (1996). L'organe est dit attaqué lorsqu'il porte des galeries ou des placages avec ou sans termites. Le taux d'attaque des termites par parcelle est calculé selon la formule suivante :

$$\mathbf{Ta = Npa \times 100 / Ntp} \quad (7)$$

Ta = taux d'attaque des termites par parcelle,

Npa = Nombre de pieds présentant les attaques des termites,

Ntp = Nombre total de pieds observés par parcelle.

En fonction du taux d'attaque, les espèces ont été classées en se basant sur la codification des indices de fréquence (Tableau I).

Tableau I: Codification des indices de fréquences (Ouedraogo *et al.* 2015)

Classes des fréquences (%)	Caractéristiques
F < 10	Espèces très rares
10 < F < 20	Espèces accidentelles
20 < F < 40	Espèces accessoires
40 < F < 60	Espèces assez fréquentes
60 < F < 80	Espèces fréquentes
F > 80	Espèces très fréquentes

2.2.9.1.2. Estimation des dégâts occasionnés par les attaques de termites

Les attaques des termites sur les cacaoyers ont été classées en deux groupes selon la densité des placages et surtout, sur la progression des termites dans les structures anatomiques de la

plante. Ainsi, trois catégories de cacaoyers ont été distinguées (Figure 20). Il s'agit de cacaoyers sains (cacaoyers ne portant ni de traces ni de présence de termites), de cacaoyers présentant des dégâts mineurs c'est-à-dire des cacaoyers portant des traces de termites, des nids ou des dégâts superficiels (dégâts de type I) et de cacaoyers portant des dégâts majeurs c'est-à-dire des dommages internes, des dommages en dessous de l'écorce (dégâts de types II). Tous les cacaoyers de la zone d'échantillonnage ont été examinés pour déterminer la proportion de ces cacaoyers souffrant de dégâts de termites. Cet échantillonnage a servi à évaluer les dégâts causés par les termites.

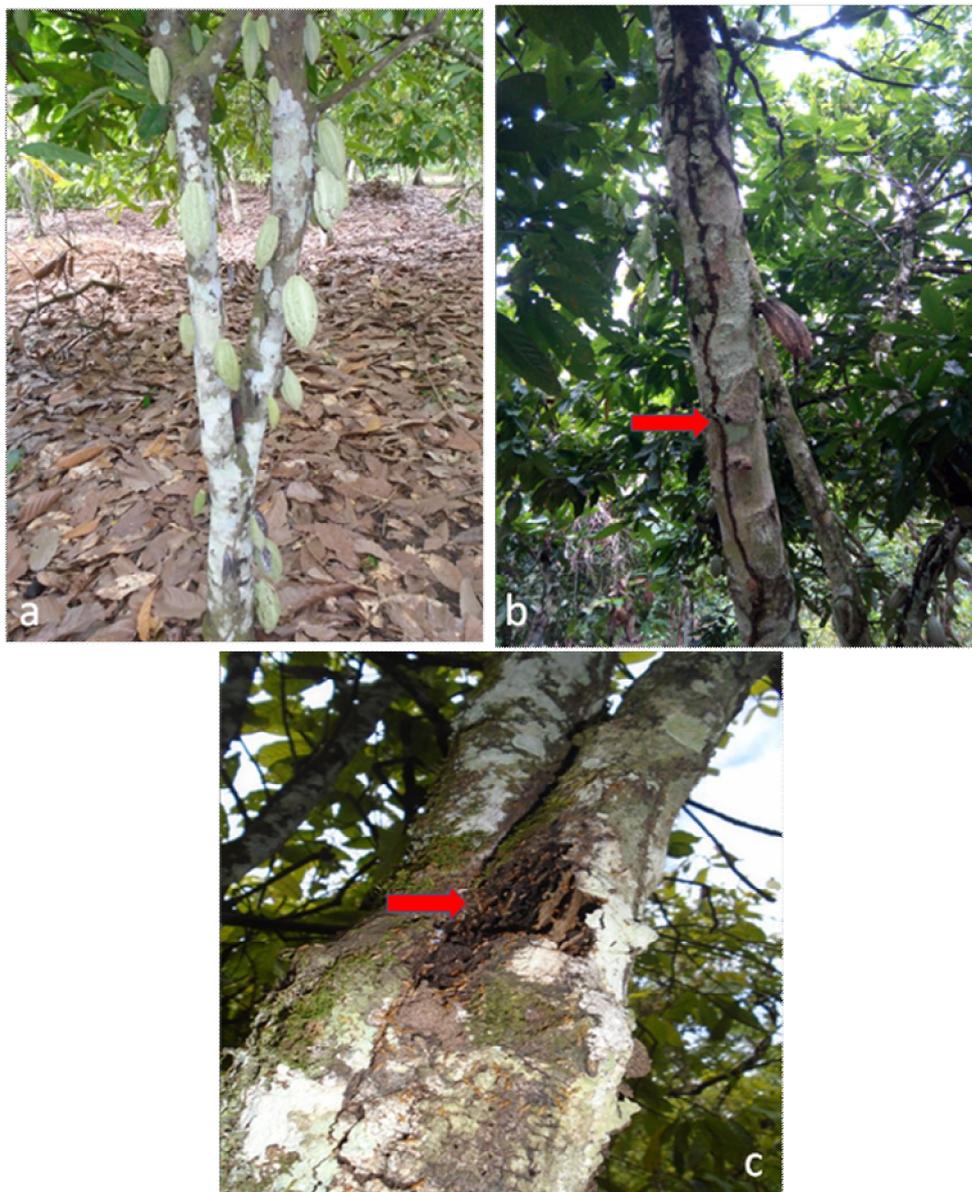


Figure 20: Différents stades de dégradation du cacaoyer par les termites

a : Cacaoyer sains; **b** : Cacaoyer présentant des dégâts superficiels (dégât de type I); **c** : Cacaoyer présentant des dégâts majeurs (dégât de type II)

2.2.9.2. Evaluation de l'efficacité de l'échantillonnage

La représentativité des échantillonnages a été évaluée à partir de l'efficacité de l'échantillonnage. Sa détermination est essentielle si l'on veut comparer la richesse et la composition spécifique entre différents habitats car la représentativité d'un échantillonnage est étroitement liée à l'efficacité de la méthode utilisée. Pour ce faire, deux procédés ont été utilisés : le premier concerne les courbes d'accumulation des espèces basées sur l'effort de récolte, ceci permettant de visionner graphiquement et de comparer la richesse spécifique obtenue et celle estimée. Le deuxième procédé concerne le calcul du taux de couverture de l'échantillonnage.

2.2.10. Expression des résultats

Plusieurs indices ont été calculés pour décrire les peuplements des espèces floristiques et fauniques dans les agrosystèmes.

2.2.10.1. Estimation de la richesse spécifique

La richesse spécifique (S) correspond au nombre total d'espèces échantillonnées dans un milieu donné (Morin & Findlay, 2001). C'est le nombre d'espèces obtenues après une série de relevés sur différentes stations (Blondel, 1979). L'estimateur non paramétrique Jackknife 1 et Chao 2 ont été calculés grâce au logiciel EstimateS version 7.0 (Colwell, 2004) afin d'estimer la richesse spécifique attendue dans les milieux étudiés.

2.2.10.2. Abondance relative

L'abondance relative est le nombre moyen de rencontres d'une espèce *i* récoltée dans un quadrat. Elle est basée sur l'incidence (présence = 1 et absence = 0) de l'espèce considérée. Elle peut être exprimée de différentes façons, soit en densité, soit en fréquence, soit sous la forme d'indice d'abondance relative (Blondel, 1979). Elle est calculée selon la formule suivante :

$$A = \sum ni / N \quad (8)$$

A: Abondance relative,

ni: Nombre d'individus de l'espèce *i*.

N est le nombre total de sections du quadrat (au niveau des termites) ; il représente également le nombre total d'échantillons dans le quadrat (au niveau des fourmis).

2.2.10.3. Indice de Shannon

L'indice de Shannon mesure la diversité du peuplement (Blondel, 1979). Il rend compte à la fois, de la richesse spécifique et de l'abondance des différentes espèces. L'indice de Shannon (H') prend en compte le nombre de taxons rencontrés sur une parcelle. Il est indépendant de la taille de l'échantillon et néglige les espèces rares présentes dans le milieu (Magurran, 2004). Il est nul lorsqu'il n'y a qu'un taxon et sa valeur est maximale lorsque tous les taxons ont la même abondance. Il est calculé grâce au logiciel EstimateS (Version 7.0) Colwell (2004) selon la formule suivante :

$$H' = - \sum p_i \times \log_2 (p_i) \quad (9)$$

p_i = probabilité de rencontre de l'espèce i .

2.2.10.4. Indice d'équitabilité

Appelé aussi indice de régularité, l'équitabilité (E), mesure la répartition équitable des espèces. C'est le rapport de l'indice de diversité à l'indice maximal et correspond au nombre d'espèces des peuplements (Barbault, 1981). Il permet de comparer des peuplements comportant des nombres de taxons différents (Dajoz, 1982). Il a pour objectif d'observer l'équilibre des individus présents. L'équitabilité ou l'équirépartition s'obtient par la formule suivante :

$$E = H' / \log_2 (s) \quad (10)$$

H' = Indice de diversité de Shannon ;

S = Richesse spécifique ;

E tend vers 0 lorsqu'un taxon domine largement le peuplement et est égale à 1 lorsque tous les taxons ont la même abondance.

2.2.10.5. Indice de Simpson

L'indice de Simpson (D) (Morin et Findlay, 2001) évalue la probabilité que deux individus, tirés au hasard dans une population infinie de N individus appartiennent à la même espèce. Il est calculé selon la formule suivante :

$$D = \frac{\sum_{i=1}^g p_i^2}{N} \quad (11)$$

D = indice de Simpson,

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

N = nombre total d'individus.

2.2.11. Analyses statistiques

2.2.11.1. Analyses de variances

L'analyse de la variance (ANOVA) est une technique permettant de comparer les moyennes de deux ou plusieurs échantillons. Les analyses de variances à un facteur ont été réalisées avec le logiciel Statistica (version 7.1) pour déterminer séparément si certaines variables (abondance, richesse spécifique, indice de diversité et taux d'attaques...) étaient significativement différentes entre les différents agrosystèmes étudiés. 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 sont-ils rangés. Le test de Mann-Whitney a également été utilisé pour une comparaison deux à deux dans les différents systèmes agroforestiers.

2.2.11.2. Classification hiérarchique ascendante

La classification hiérarchique ascendante (CAH), est une méthode d'analyse utilisée pour mettre en évidence des similitudes. Le principe de la CAH est de rassembler des individus selon un critère de ressemblance défini au préalable qui s'exprimera sous la forme d'une matrice de distances, exprimant la distance existante entre chaque individu pris deux à deux. Deux observations identiques auront une distance nulle. Plus les deux observations seront dissemblables, plus la distance sera importante. La CAH va ensuite rassembler les individus de manière à produire un dendrogramme ou arbre de classification. Le découpage de cet arbre à différente hauteur permet de produire la partition des différents groupes ou classes.

2.2.11.3. Analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode complémentaire de l'analyse de classification hiérarchique qui place chaque variable sur un axe de sorte que sa position géométrique reflète une corrélation avec les autres variables. Le but de l'ACP est d'expliquer les possibles relations entre les variables. Dans la présente étude, l'ACP a été réalisée pour étudier la dynamique des peuplements de termites. Cette analyse de l'ACP s'adresse à un tableau croisé relevés x variables et s'attache essentiellement aux corrélations entre les variables que l'on cherche à expliquer par les relevés. La variation de la densité des termites a

été corrélée aux différents systèmes d'ombrage. Ces analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel R (Version 2.8.0).

2.2.11.4. Analyse factorielle de correspondance

L'analyse factorielle de correspondance (AFC) est une analyse de tableaux de contingence (tableaux d'effectifs) où les lignes et les colonnes jouent le même rôle, et leur représentation est simultanée. C'est la représentation géométrique des éléments à classer dans un espace multidimensionnel. L'AFC est une méthode qui permet de décrire la dépendance ou la correspondance entre deux ensembles de caractères. Les objectifs de la méthode sont d'obtenir une typologie des lignes, une typologie des colonnes et de relier les deux typologies ensemble (Chardon, 1981). L'analyse factorielle des correspondances a été utilisée dans cette étude pour analyser la relation entre les types de dégâts de termites et le niveau d'ombrage. Cette analyse est réalisée à l'aide du logiciel XLSTAT.

2.2.11.5. Analyse canonique des correspondances

L'analyse canonique des correspondances (ACC) permet d'analyser la relation entre deux types de variables et d'obtenir une représentation simultanée des sites, des objets, et des variables en deux ou trois dimensions, optimale pour un critère de variance (Ter Braak, 1986). Dans cette étude, l'ACC a permis de mettre en relation les espèces de termites et les variables environnementales. Sur la base des abondances des espèces de termites, une matrice "espèce-quadrats" et une autre matrice "variables environnementales-quadrats" sont constituées. Après couplage, l'ACC donne une distribution normale des données d'abondances et des valeurs des facteurs environnementaux à partir des variables environnementales expliquant le mieux la distribution des espèces. Les résultats sont présentés sous forme de diagramme où les positions relatives des variables environnementales sont représentées par des flèches ou la longueur de la flèche traduit l'importance de la variable environnementale ; la direction indique comment la variable environnementale est corrélée aux divers axes des espèces ; l'emplacement des espèces par rapport aux flèches met en évidence les principaux facteurs environnementaux influençant la distribution des termites. Cette analyse est réalisée à l'aide du logiciel CANOCO version 4.5 (Ter Braak & Smilauer, 2002).

2.2.16.6. Carte auto organisatrice de Kohonen

L'ordination des quadrats des différents sites d'études en fonction des variables environnementales et des assemblages des termites et 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'intensités des variables environnementales et des abondances relatives des termites ou des fourmis. Ces analyses ont été réalisées grâce au logiciel Matlab (version, 7.6).

2.2.11.7. Analyse canonique de redondance ou ReDundancy Analysis

La ReDundancy Analysis (la RDA) a permis de mettre en relation les paramètres environnementaux du milieu et les abondances des espèces de fourmis étudiées. Elle a été utilisée pour déterminer les facteurs du milieu qui influencent la distribution des fourmis. Le résultat de cette analyse est présenté sur un graphique dans lequel sont projetées les variables environnementales et les espèces de fourmis. Cette analyse a été effectuée grâce au logiciel CANOCO (Canonical Community Ordination) version 4.5 (Ter Braak & Similauer, 2002).

**TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET
DISCUSSION**

3.1. DIVERSITE FLORISTIQUE DES DIFFERENTS SYSTEMES DE CACAO

3.1.1. Richesse, diversité et composition des arbres d'ombrage

Quatre vingt trois (83) espèces d'arbres réparties en 62 genres et 32 familles botaniques ont été identifiées dans les différentes parcelles cacaoyères (Annexe 1). Les familles prépondérantes en termes de nombre d'espèces sont les Moraceae avec 10 espèces soit 12,05 %, les Meliaceae avec 8 espèces soit 9,64 %. Les Euphorbiaceae, les Mimosaceae, les Sterculiaceae et les Rubiaceae sont représentées avec 5 espèces chacune soit 6,02%. L'ensemble des autres familles représentent 54,23 % des espèces et chaque famille a une fréquence en dessous de 5 % (Figure 21).

La richesse spécifique est plus importante dans le système ombragé avec 52 espèces et dans le système intermédiaire 2 (40 espèces) (Tableau II). Il en est de même pour la richesse générique et la richesse en famille. Deux indices de diversité ont été calculés à partir des quadrats disposées dans les différents systèmes de culture. Ils'agit de l'indice de Shannon et l'indice d'équitabilité de Pielou. L'indice de diversité de Shannon varie de 2,55 pour le système intermédiaire 1 à 3,37 pour le système ombragé. Cet indice est de 2,58 pour le système sans ombrage. Le système intermédiaire 2 a la valeur d'indice 3,29. L'indice d'équitabilité tend vers 1 sur l'ensemble des milieux. Il varie de 0,84 pour le système intermédiaire 1 à 0,95 pour le système sans ombrage. Le système intermédiaire 2 et le système ombragé ont respectivement 0,91 et 0,85. Ces valeurs révèlent que la répartition des espèces se fait de manière régulière.

Les données collectées permettent de distinguer une plus grande richesse en espèces forestières dans les parcelles des différents systèmes d'ombrage sauf dans le système plein soleil. Dans ce système, la fréquence des espèces forestières est égale à celle des arbres fruitiers. Parmi ces différents systèmes agroforestiers, les taux les plus élevés d'espèces d'arbres forestiers sont observés dans les deux systèmes intermédiaires avec 81,15% (système intermédiaire 2) et 61,54% (système intermédiaire 1). L'analyse de l'abondance des espèces végétales associées aux cacaoyers montre que l'abondance varie de manière significative entre les différents systèmes agroforestiers ($F = 5,675$; $p = 0,0008$) (Figure 22). Une différence significative (Figure 23) est également observée entre la richesse spécifique moyenne des espèces forestières et celle des espèces fruitières des différents systèmes de cacao ($p = 0,0003$, test U de Mann-whitney). Les essences forestières les plus courantes sont *Albizia adianthifolia* (Mimosaceae), *Ceiba pentandra* (Bombacaceae), *Ficus exasperata*

(Moraceae) *Funtumia elastica* (Apocynaceae) *Hevea brasiliensis* (Euphorbiaceae), *Spathodea campanulata* (Bignoniaceae), *Spondias mombin* (Anacardiaceae) et *Terminalia superba* (Combretaceae). Ces espèces étaient représentées à plus de 12 individus dans l'ensemble des systèmes de culture. Les espèces d'arbres fruitiers couramment rencontrées dans les plantations sont les suivantes : *Persea americana* (Lauraceae), *Mangifera indica* (Anacardiaceae), *Cola nitida* (Sterculiaceae), *Psidium guajava* (Myrtaceae). Des essences non ligneuses telles que *Cocos nucifera* (Arecaceae) et *Elaeis guineensis* (Arecaceae) ont également été répertoriées.

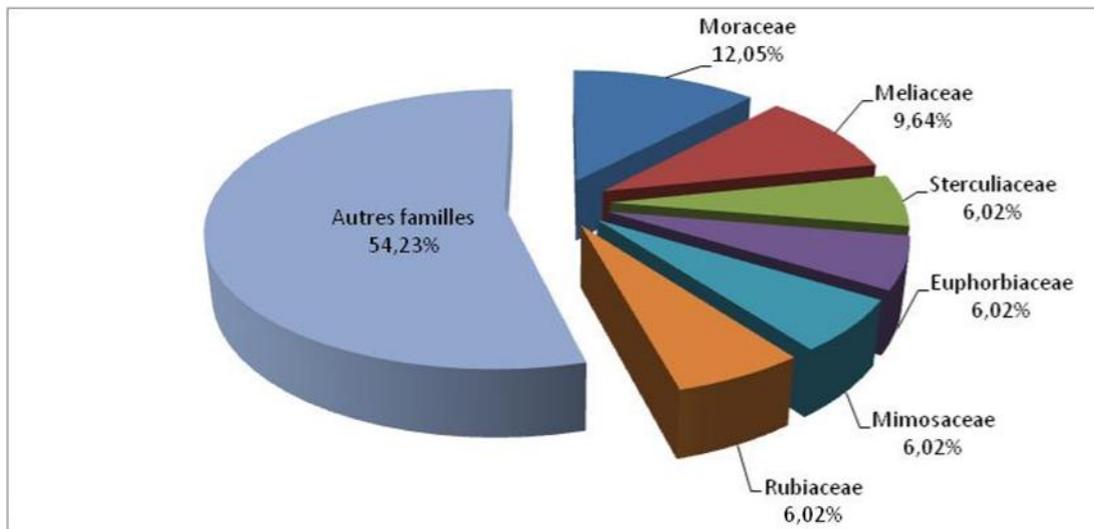


Figure 21 : Proportion des familles de ligneux en nombre d'espèces

Tableau II : Abondance relative et proportion des espèces ligneuses des différents SAFc

Systèmes de culture	Richesse spécifique	Nombre de genres	Nombre de familles	Arbres fruitiers (%)	Arbres forestiers (%)
SSO	15	13	11	50	50
SI1	21	20	15	38,46	61,54
SI2	40	33	22	18,85	81,15
SO	52	47	28	40,22	59,78

SSO: système sans ombrage; SI1: système intermédiaire 1; SI2: système intermédiaire 2; SO: système ombragé

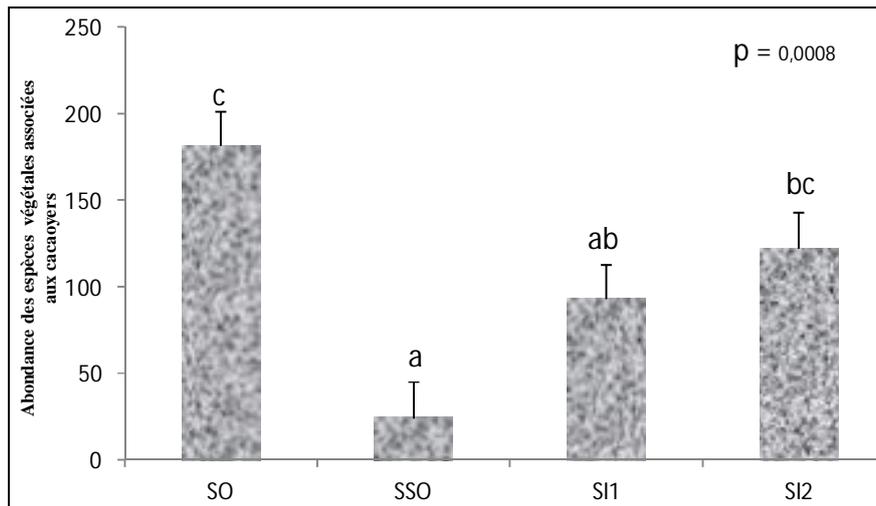


Figure 22 : Abondance des arbres associés aux cacaoyers

SSO : système sans ombrage ; **SI1** : système intermédiaire 1 ; **SI2** : système intermédiaire 2 ; **SO** : système ombragé. Les moyennes portant la même lettre sont statistiquement identiques au seuil 5% (test de Tukey).

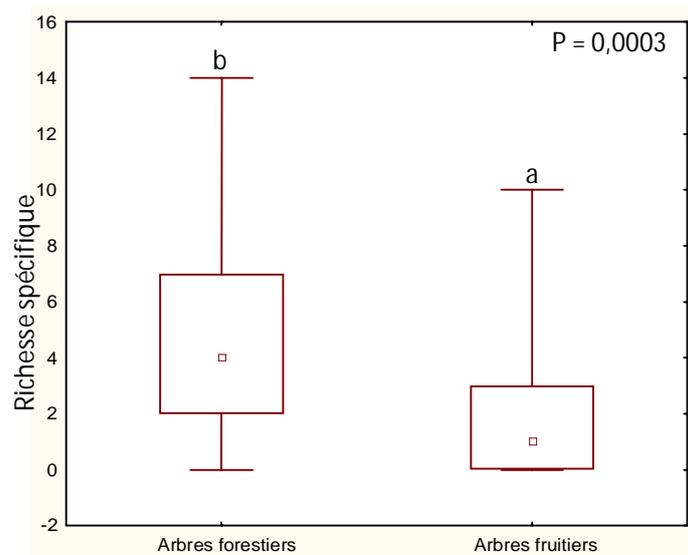


Figure 23 : Richesse spécifique myenne selon le type d'arbre

Les moyennes portant la même lettre sont statistiquement identiques au seuil 5% (test U de Mann-whitney).

3.1.2. Distribution des tiges par classes de diamètres

La distribution des individus par classe de diamètre décroît exponentiellement dans les arbres forestiers et dans les arbres fruitiers (Figure 24). Au sein des arbres forestiers, la tendance est irrégulière avec des valeurs élevées au sein des classes [10 - 20],] 20 - 30] et] 30 - 40]. Il apparait dans le graphe que la classe de diamètre [10 - 20] est la plus représentée chez les deux types d'arbres d'ombrage. Ces deux types d'arbres présentent une structure décroissante où le nombre de tiges diminue au fur et à mesure que le diamètre augmente. Dans toutes les

classes de diamètres, le nombre d'arbres forestiers est supérieur à celui des fruitiers. Les individus de diamètres supérieurs à 80 cm sont peu représentés chez les arbres forestiers et inexistant au niveau des fruitiers. L'allure du graphe montre également une abondance des jeunes arbres de diamètre [10 - 20] dans les parcelles.

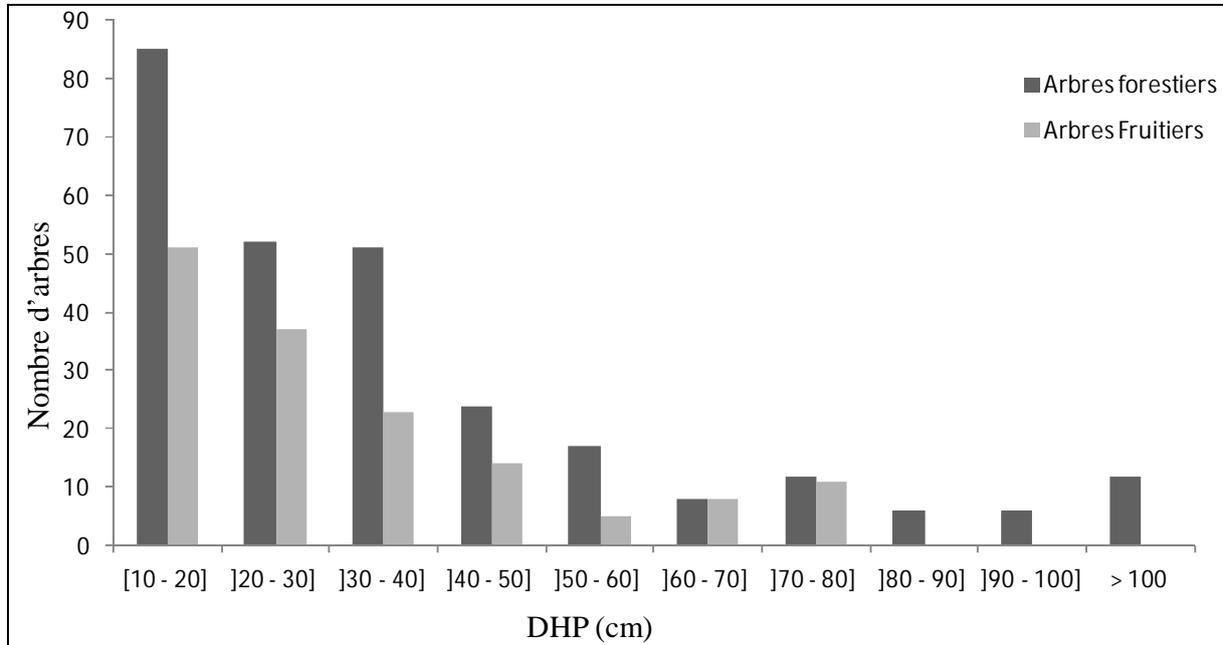


Figure 24 : Distribution de l'abondance des arbres d'ombrage par classe de diamètre

DHP: Diamètre à hauteur de poitrine

3.1.3. Distribution par classes de hauteurs des espèces végétales associées aux cacaoyers

La distribution des ligneux dans les différents systèmes agroforestiers de cacao (SAFc) est caractérisée par les trois strates (Figure 25). La structure verticale du peuplement montre que dans le système ombragé, les espèces d'arbres sont dominées par des individus de la strate arborée supérieure c'est-à-dire des individus dont la hauteur est comprise entre 8 et 16 mètres. Dans les systèmes intermédiaires, le peuplement est dominé par des individus de la strate arborée supérieure et de la strate émergente c'est-à-dire des individus dont la hauteur est supérieure à 8 m. Quant au système plein soleil, il est caractérisé par un mélange d'individus issus des trois strates dont les proportions sont voisines.

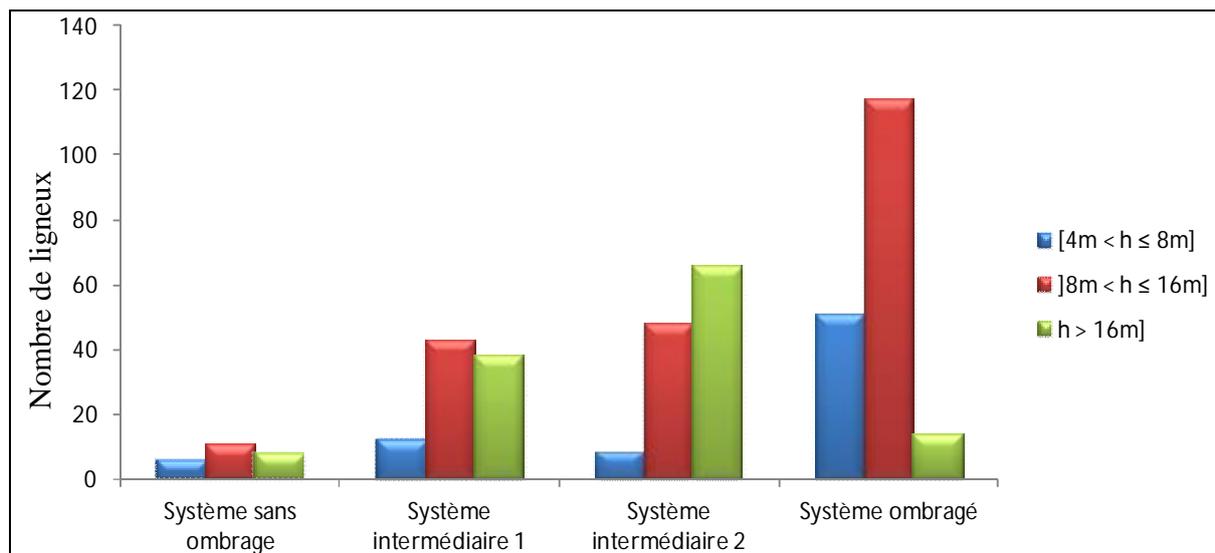


Figure 25 : Distribution de l'abondance des ligneux par classe de hauteur

h : Hauteur

3.1.4. Aire basale, densité des arbres associés et quantité de biomasse

L'aire basale (ou surface terrière) moyenne dans les systèmes intermédiaires est estimée à 15,5 m²/ha (système intermédiaire 1) et à 13,21 m² / ha (système intermédiaire 2) (Tableau III). Le système ombragé et le système sans ombrage possèdent les surfaces terrières les plus faibles avec respectivement 12 m²/ha et 3,59 m² / ha.

Dans le système ombragé, le nombre d'arbres associés aux cacaoyers est de 11,38 arbres pour 900 m² soit une densité moyenne de 126,44 arbres/ha. Ce système possède la densité moyenne la plus élevée. Les densités moyennes dans les systèmes intermédiaires sont respectivement de 5,81 arbres/900 m² et de 7,69 arbres/900m² pour le système intermédiaire 1 et le système intermédiaire 2 soit 64,56 arbres / ha et 85,44 arbres / ha. Le système sans ombrage possède la densité la plus faible (1,56 arbres / 900 m² soit 17,33 arbres / ha). La surface terrière étant fonction du diamètre à hauteur de poitrine de la plante, la valeur de 12 m² / ha obtenue dans le système ombragé avec une densité plus élevée, indique la présence d'un peuplement jeune dans ce système agroforestier.

La biomasse aérienne est estimée à 1903,18 tonnes/ha et à 933,88 tonnes/ha pour les systèmes intermédiaires 1 et 2. Les biomasses souterraines correspondantes sont de 456,76 tonnes/ha et de 224,13 tonnes/ha. Ces biomasses sont les plus élevées dans les SAFc étudiés. Par contre dans le système sans ombrage, la biomasse est la plus faible (24,17 tonnes / ha)

Tableau III : Aire basale, densité moyenne et biomasse des arbres associés aux cacaoyers

Systèmes d'ombrage	Aire basale (m ² / ha)	Densité moyenne (Nombre de tiges / 900 m ²)	Biomasse aérienne (t / ha)	Biomasse racinaire (t / ha)
SSO	3,59	1,56	24,17	5,80
SI1	15,5	5,81	1903,18	456,76
SI2	13,21	7,69	933,88	224,13
SO	12	11,38	79,73	19,13

SSO: système sans ombrage; SI1: système intermédiaire 1; SI2: système intermédiaire 2; SO : système ombragé

3.1.5. Quantité de biomasse et taux de carbone séquestré dans les différents SAFc

L'estimation de la biomasse totale dans les différents SAFc évolue avec celle de la biomasse aérienne. Le système intermédiaire 1 présente la plus grande biomasse totale, avec une valeur de 2359,95 t / ha (Tableau IV). Cette biomasse corespond à un taux de carbone séquestré de 1179,97 t / ha, équivalent à une valeur monétaire variant entre 12979,70 et 60571,95 euros (entre 8501686,29 et 39674546,91francs CFA) selon les marchés. La plus faible biomasse totale est estimée dans le système sans ombrage avec 29,97 t / ha et un taux de carbone séquestré de 14,98 t / ha. Entre ces deux valeurs moyennes extrêmes, des valeurs intermédiaires au sein des autres systèmes sont observées.

Tableau IV : Biomasse totale, quantité de carbone séquestrée et coûts équivalents

Systèmes d'ombrage	Individus	Biomasse totale (t / ha)	Stock de carbone (t / ha)	CO ₂ (t)	Prix carbone MDP (€)	Prix carbone Marché Volontaire (€)	Prix carbone REED+ (€)
SSO	25	29,97	14,98	54,94	164,81	258,21	769,13
SI1	93	2359,95	1179,97	4326,57	12979,70	20334,87	60571,95
SI2	123	1158,01	579,01	2123,03	6369,08	9978,22	29722,37
SO	182	98,86	49,43	181,25	543,74	851,85	2537,44

SSO: système sans ombrage; SI1: système intermédiaire 1; SI2 : système intermédiaire 2; SO: système ombragé

3.2. DIVERSITE FAUNIQUE DES DIFFERENTS SYSTEMES DE CACAO

3.2.1. Richesse et diversité des termites dans les différents systèmes agroforestiers de cacao

3.2.1.1. Richesse spécifique des termites dans les différents systèmes de cacao

L'échantillonnage dans les 4 localités a permis de récolter des individus appartenant à 17 genres de termites répartis en 29 espèces (Tableau V). Ces espèces appartiennent à trois (3)

familles. La première famille est celle des Rhinotermitidae avec deux sous-familles : les Coptotermitinae et les Rhinotermitinae. La seconde famille correspond à la famille des Termitidae composée de quatre sous-familles : les Macrotermitinae, les Termitinae, les Cubitermitinae et les Nasutitermitinae. La dernière famille est celle des Kalotermitidae constituée de la seule sous-famille des Kalotermitinae.

Coptotermes intermedius, *Coptotermes sjostedti*, *Ancistrotermes cavithorax*, *Ancistrotermes guineensis*, *Macrotermes bellicosus*, *Microtermes subhyalinus*, *Microtermes thoracalis*, *Odontotermes* sp.1, *Microcerotermes fuscotibialis*, *Nasutitermes arborum* et *Nasutitermes latifrons* ont été rencontrés dans tous les systèmes d'ombrage tandis que les espèces telles que *Schedorhinotermes lamanianus*, *Acanthotermes acanthothorax*, *Odontotermes* sp.2, *Pseudacanthotermes militaris*, *Pericapritermes urgens*, *Cubitermes subcrenulatus*, *Procubitermes fungifaber*, *Procubitermes sjostedti*, *Trinervitermes geminatus* et *Postelectrotermes sordwanae* ne sont présentes que dans un seul système de culture.

Sur le plan trophique, les espèces récoltées peuvent être classées en quatre grands groupes : les termites champignonnistes, fourrageurs, humivores et xylophages. Les champignonnistes collectés, appartiennent à la famille des Termitidae et à la sous-famille des Macrotermitinae. Ils sont constitués de 11 espèces. Les xylophages comprennent les familles des Rhinotermitidae (sous-famille des Rhinotermitinae et des Coptotermitinae), des Termitidae (sous-famille des Termitinae et des Nasutitermitinae) et des Kalotermitidae (sous-famille des Kalotermitinae). Les xylophages collectés sont constitués de 11 espèces. Les fourrageurs, constitués d'une seule espèce, appartiennent à la famille des Termitidae et à la sous-famille des Nasutitermitinae. Les termites Humivores sont constitués de 6 espèces. Ces espèces appartiennent à la famille des Termitidae. Elles se répartissent en deux sous-familles : la sous-famille des Termitinae et celle des Cubitermitinae.

3.2.1.2. Diversité des différents systèmes d'ombrage

L'analyse de la richesse spécifique montre une différence significative (Anova, $F = 19,792$ $p = 0,0005$) de celle-ci au niveau des différents systèmes agroforestiers. La richesse spécifique est plus importante dans le système intermédiaire 2 avec 21 espèces (Tableau VI). Par contre dans les systèmes sans ombrage, intermédiaire 1 et ombragé la richesse spécifique est plus faible et statistiquement la même dans ces trois systèmes. Concernant l'indice de Shannon, il est statistiquement la même dans les 4 systèmes de cultures. Il en est de même pour l'indice

d'équitabilité (E) où aucune différence significative n'est observée entre les différents systèmes agroforestiers, montrant une homogénéité entre les espèces.

3.2.1.3. Relation entre les termites et les différents systèmes d'ombrage

L'analyse en composantes principales réalisée à partir de l'abondance des espèces de termites montre les relations entre les différents systèmes d'ombrage et les espèces de termites. L'ordination dans le plan factoriel décrit par les axes F1 et F2 explique 32,84% de la variance totale (Figure 26). Le cercle de corrélation (Figure 26A) et l'étude des contributions propres des variables à la formation des deux axes indiquent que l'axe F1 oppose les espèces *Schedorhinotermes lamanianus*, *Ancistrotermes cavithorax*, *Macrotermes bellicosus*, *Promirotermes orthocephus*, *Postelectrotermes sordwane*, *Odontotermes* sp.1, *Procubitermes sjostedti*, *Nasutitermes latifrons*, *Nasutitermes arborum*, *Cubitermes fungifaber* et *Cubitermes subcrenulatus* aux autres espèces. Un profil très concentrique de ces espèces est observé autour de l'intersection des deux axes. La carte factorielle présente trois groupes nettement distincts (Figure 26B). Le premier groupe caractérisé par le système sans ombrage est dominé par les espèces *N. latifrons*, *N. arborum*, *P. sjostedti*, *C. fungifaber* et *C. subcrenulatus* alors que les espèces *M. bellicosus*, *A. cavithorax*, *P. orthocephus* et *P. sordwane* dominent le second groupe (système intermédiaire 2). L'analyse de chacun de ces deux groupes montre une certaine homogénéité de présence des espèces de termites. Le dernier groupe constitué par le système intermédiaire 1 et le système ombragé est caractérisé par les autres espèces.

Tableau V : Répartition des espèces de termites dans les différents milieux

Familles	Sous-Familles	Espèces	SSO	SI1	SI2	SO	GT	
Rhinotermitidae	Coptotermitinae	<i>Coptotermes intermedius</i>	*	*	*	*	X	
		<i>Coptotermes sjostedti</i>	*	*	*	*	X	
	Rhinotermitinae	<i>Schedorhinotermes lamanianus</i>			*		X	
Termitidae	Macrotermitinae	<i>Acanthotermes acanthothorax</i>			*		C	
		<i>Ancistrotermes cavithorax</i>	*	*	*	*	C	
		<i>Ancistrotermes crucifer</i>	*	*	*		C	
		<i>Ancistrotermes guineensis</i>	*	*	*	*	C	
		<i>Macrotermes bellicosus</i>	*	*	*	*	C	
		<i>Macrotermes subhyalinus</i>		*	*	*	C	
		<i>Microtermes subhyalinus</i>	*	*	*	*	C	
		<i>Microtermes thoracalis</i>	*	*	*	*	C	
		<i>Odontotermes sp.1</i>	*	*	*	*	C	
		<i>Odontotermes sp.2</i>	*				C	
			<i>Pseudacanthotermes militaris</i>				*	C
		Termitinae	<i>Amitermes evuncifer</i>	*		*	*	X
			<i>Microcerotermes edentatus</i>				*	X
			<i>Microcerotermes fuscotibialis</i>	*	*	*	*	X
			<i>Microcerotermes parvus</i>	*		*	*	X
			<i>Pericapritermes urgens</i>			*		H
		Cubitermitinae	<i>Cubitermes fungifaber</i>		*	*		H
			<i>Cubitermes subcrenulatus</i>		*			H
			<i>Procubitermes fungifaber</i>	*				H
			<i>Procubitermes sjostedti</i>		*			H
	<i>Promirotermes orthocephus</i>				*	*	H	
	Nasutitermitinae	<i>Nasutitermes arborum</i>	*	*	*	*	X	
		<i>Nasutitermes diabolus</i>		*		*	X	
		<i>Nasutitermes latifrons</i>	*	*	*	*	X	
		<i>Trinervitermes geminatus</i>	*				F	
Kalotermitidae	Kalotermitinae	<i>Postelectrotermes sordwanae</i>			*		X	
Total	3	7	29	17	17	21	18	

C: Champignonnistes, F: Fourrageurs, H: Humivores et X: xylophages. * : présence de l'espèce dans le milieu

SSO: système sans ombrage; SI1: système intermédiaire 1; SI2: système intermédiaire 2; SO: système ombragé; GT: groupe trophique

Tableau VI : Indices de diversité des milieux prospectés

	Richesse spécifique (S)	Shannon (H')	Equitabilité (E)
SSO	17 a	2,234 ± 0,048 a	0,788 ± 0,017 a
SI1	17 a	2,138 ± 0,067 a	0,761 ± 0,024 a
SI2	21 b	2,296 ± 0,062 a	0,754 ± 0,020 a
SO	18 a	2,289 ± 0,053 a	0,795 ± 0,018 a
F	19,792	1,578	0,998
p	0,0005 S	0,2689 NS	0,442 NS

SSO: système sans ombrage; **SI1**: système intermédiaire 1; **SI2**: système intermédiaire 2; **SO**: système ombragé; p: Probabilité; F : Variabilité; NS: Non significatif; S: Significatif. Dans une même colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de au seuil 5% (Test de Tukey)

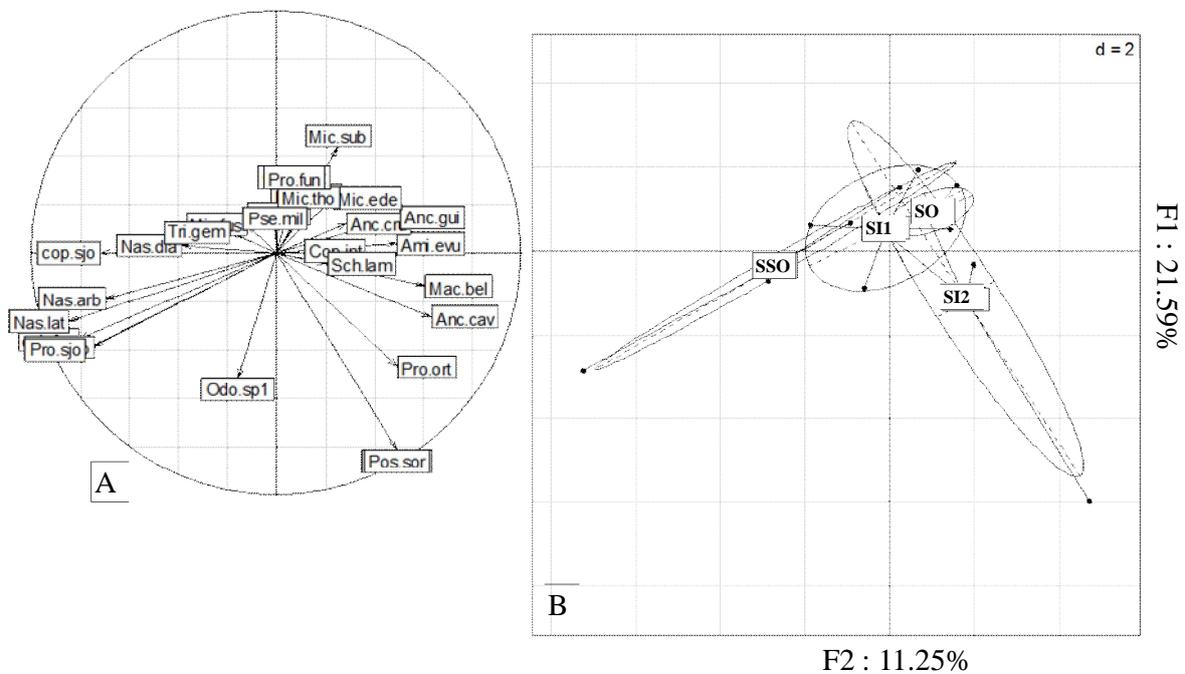


Figure 26 : Analyse en composantes principales (ACP) montrant les relations entre les parcelles des différents systèmes de culture et les espèces de termites

A: cercle de corrélations sur le plan factoriel F1 x F2 ; **B**: carte factorielle montrant l'ordination des systèmes d'ombrage décrit par les axes 1et 2. **SSO**: système sans ombrage; **SI1**: système intermédiaire 1; **SI2**: système intermédiaire 2; **SO**: système ombragé. **Aca.aca**: *Acanthotermes acanthothorax* ; **Ami.evu**: *Amitermes evuncifer* ; **Anc.cav**: *Ancistrotermes cavithorax* ; **Anc.cru**: *Ancistrotermes crucifer* ; **Anc.gui**: *Ancistrotermes guineensis* ; **Cop.int**: *Coptotermes intermedius* ; **Cop.sjo**: *coptotermes sjostedti*; **Cub.fun**: *cubitermes fungifaber* ; **Cub.sub**: *Cubitermes subcrenulatus*; **Mac.bel**: *Macrotermes bellicosus* ; **Mac.sub**: *Macrotermes subhyalinus* ; **Mic.ede** : *Microcerotermes edentatus*; **Mic.fus**: *Microcerotermes fuscotibialis* ; **Mic.par**: *Microcerotermes parvus* ; **Mic.sub**: *Microtermes subhyalinus*; **Mic.tho**: *Microtermes thoracalis*; **Nas.arb**: *Nasutitermes arborum* ; **Nas.dia**: *Nasutitermes diabolus*; **Nas.lat**: *Nasutitermes latifrons*; **Odo.sp.1**: *Odontotermes sp.1*; **Odo.sp.2**: *Odontotermes sp.2* ; **Per.urg**: *Pericapritermes urgens*; **Pos.sor**: *Postelectrotermes sordwane*; **Pro.fun**: *Procupitermes fungifaber*; **Pro.sjo**: *Procupitermes sjostedti*; **Pro.ort**: *Promirotermes orthoiceps* ; **Pse.mil**: *Pseudacanthotermes militaris*; **Sch.lam**: *Schedorhinotermes lamanianus*; **Tri.gem**: *Trinervitermes geminatus*.

3.2.1.4. Abondance relative des termites dans les différents systèmes d’ombrage

L’abondance relative des termites la plus faible a été enregistrée dans le système intermédiaire 1 (309 occurrences) (Tableau VII). Par contre la plus forte abondance a été observée dans le système sans ombrage (456 occurrences). Les systèmes intermédiaire 2 et ombragé enregistrent respectivement 351 et 340 occurrences. L’abondance des champignonnistes ne varie pas significativement en fonction des systèmes de culture (ANOVA, $p= 0,279$). Cependant les abondances les plus élevées de ce groupe ont été enregistrées dans le système intermédiaire 2 (243 occurrences) et dans le système ombragé (230 occurrences). De même l’abondance des autres groupes trophiques ne varie pas statistiquement entre les systèmes d’ombrage. Les abondances des xylophages (270 occurrences) et des Humivores (23 occurrences) les plus élevées sont observées dans le système sans ombrage. L’abondance relative des groupes trophiques varie en fonction du système d’ombrage (Figure 27). Une différence significative est observée entre les abondances des différents groupes trophiques (Anova, $p = 0,00006$). Les champignonnistes sont les plus abondants dans les milieux prospectés avec 794 occurrences, soit 54,53% de l’abondance totale des termites. Ils sont suivis par les xylophages avec 629 occurrences soit 43,2%. Les humivores (32 occurrences soit 2,2%) et les fourrageurs (1 occurrence) sont les moins abondants.

Tableau VII : Récapitulatif du nombre d’occurrences des groupes trophiques suivant le système de culture

Groupes trophiques	SSO	SI1	SI2	SO	F	p	Total occurrences
Champignonnistes	163	158	243	230	1,277	0,279 NS	794
Humivores	23	2	6	1	2,37	0,1 NS	32
Fourrageurs	0	1	0	0	-	NS	1
Xylophages	270	148	102	109	0,977	0,413 NS	629
Total	456	309	351	340	-	-	1456

SSO: système sans ombrage; SI1: système intermédiaire 1; SI2: système intermédiaire 2; SO: système ombragé
 NS: Non significatif; p: Probabilité; F: Variabilité.

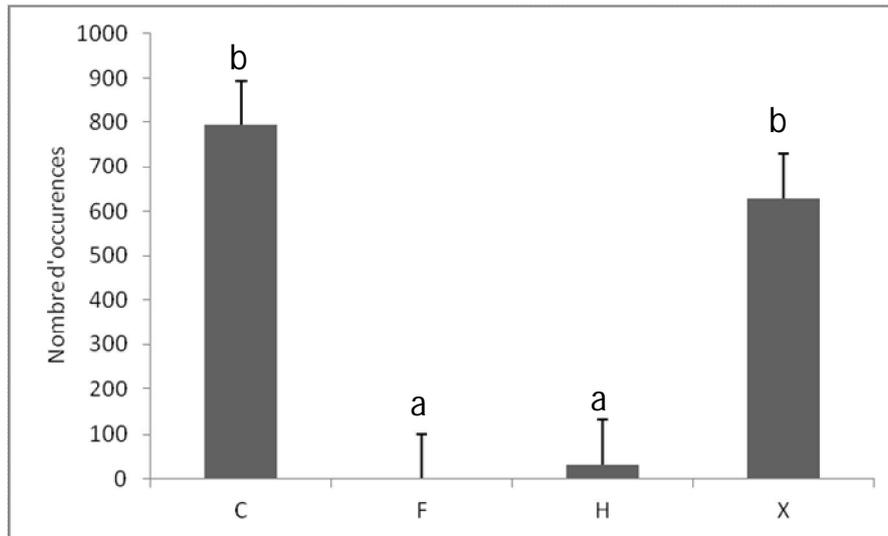


Figure 27 : Abondance relative des groupes trophiques de termites.

C: Champignonnistes ; **F** : Fourrageurs ; **H** : Humivores ; **X** : Xylophages. Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% (Test de Tukey).

3.2.1.5. Similitude entre habitats

La classification hiérarchique des biotopes basée sur l'abondance relative des espèces de termites montre des similitudes entre les habitats prospectés. Trois grands groupes se distinguent nettement (Figure 28). Le premier (I) est constitué par le système sans ombrage. Le second groupe (II) est constitué par le système intermédiaire 1. Le système intermédiaire 2 et le système ombragé, constituent le troisième groupe (III). Le dendrogramme de similitude montre que le système sans ombrage et le système intermédiaire 1 se séparent très nettement du système intermédiaire 2 et du système ombragé. Le système intermédiaire 2 et le système ombragé présentent une similarité élevée. La distribution des termites semble avoir une relation avec le type de système d'ombrage.

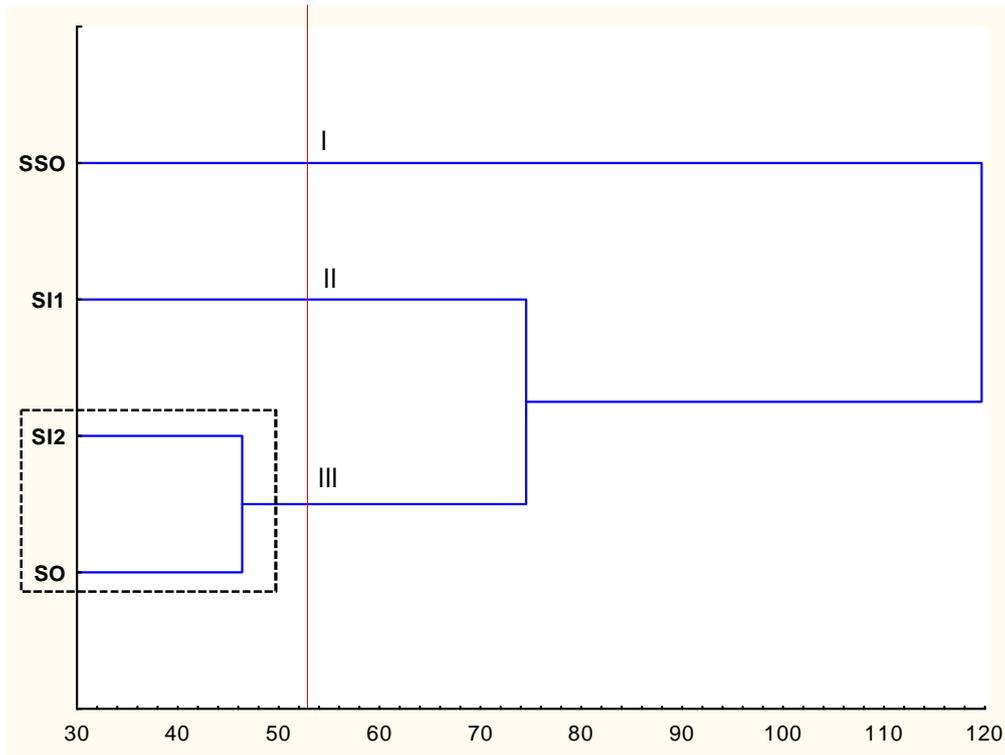


Figure 28: Dendrogramme de similitude montrant l'association des milieux en fonction de l'abondance relative des espèces de termites.

SSO: système sans ombrage; **SI1:** système intermédiaire 1; **SI2:** système intermédiaire 2; **SO:** système ombragé. I, II et III désignent les trois groupes déterminés par l'ACH.

3.2.1.6. Diversité des termites de la litière

3.2.1.6.1. Efficacité de la méthode d'échantillonnage

La représentativité d'un échantillonnage est étroitement liée à l'efficacité de la méthode d'échantillonnage utilisée. En conséquence, l'évaluation de cette efficacité répond à l'un des soucis majeurs de l'écologie des communautés. La richesse spécifique observée en échantillonnage des termites de la litière varie entre 90,54 et 98,89 % de celle attendue dans les différents milieux soit un taux de couverture de 94,85 % (Tableau VIII). Ce taux indique une grande efficacité de la méthode d'échantillonnage utilisée pour tous les habitats.

Un rapprochement est observé entre les courbes d'accumulations obtenues à partir de l'estimateur Chao 2 et celles de la richesse spécifique observée (Figure 29). Cela montre une bonne estimation de la richesse spécifique des termites dans les différents milieux. En outre, une tendance asymptotique des courbes est observée indiquant que les nombres d'espèces de termites ne changeraient plus significativement même si des transects supplémentaires avaient été échantillonnés.

Tableau VIII : Richesse spécifique observée et estimée des termites des différents systèmes d'ombrage

	SSO	SI1	SI2	SO
Observée	17	16	20	18
Attendue	17,19	16,94	20,94	19,88
Efficacité (%)	98,89	94,45	95,51	90,54

SSO: système sans ombrage; SI1: système intermédiaire 1; SI2: système intermédiaire 2; SO: système ombragé

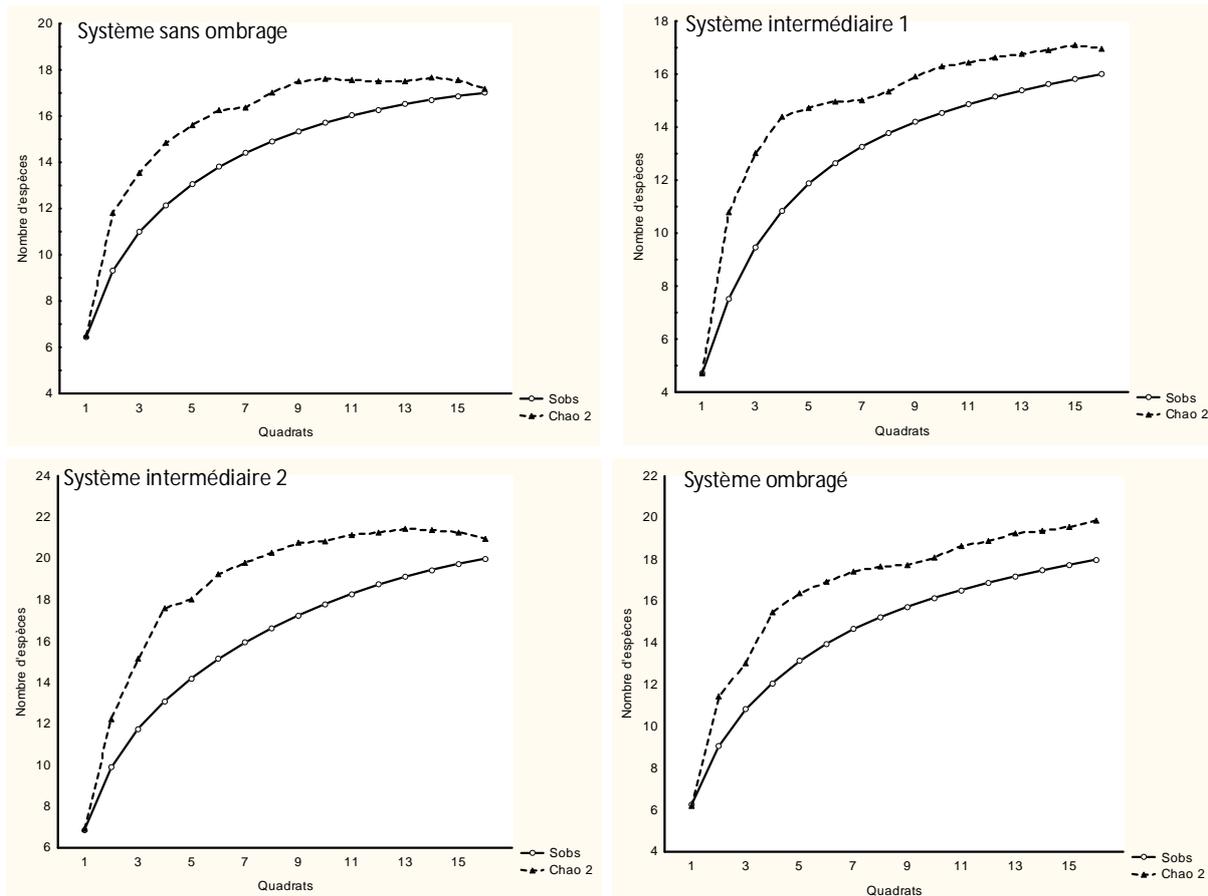


Figure 29 : Courbes d'accumulation des espèces de termites en fonction de l'effort de récolte dans les habitats

3.2.1.6. 2. Richesse spécifique, diversité et densité des termites de la litière

Vingt sept (27) espèces de termites ont été récoltées dans la litière de l'ensemble des parcelles des différents systèmes d'ombrage (Tableau IX). Ces espèces appartiennent à 2 familles (Rhinotermitidae et Termitidae). Elles sont regroupées en 15 genres et 6 sous-familles. La sous-famille des Macrotermitinae est la plus diversifiée avec 11 espèces. Elle est suivie de celles des Cubitermitinae et des Termitinae avec 5 espèces chacune. Trois espèces de la sous-famille des Nasutitermitinae ont été récoltées. Les sous-familles des Coptotermitinae et des Rhinotermitinae, sont les moins représentées avec respectivement deux espèces et une espèce.

Certaines espèces sont uniques à des milieux. Il s'agit de *Schedorhinotermes lamanianus*, d'*Acanthotermes acanthothorax* et de *Pericapritermes urgens*, collectées uniquement dans le système intermédiaire 2. Par contre, *Odontotermes* sp.2 et *Procubitermes fungifaber* sont retrouvées spécifiquement dans le système intermédiaire 1. Dans le système sans ombrage, les espèces *Cubitermes subcrenulatus* et *Procubitermes sjostedti* sont uniques à ce milieu tandis que l'espèce *Pseudacanthotermes militaris* est spécifique au système ombragé.

La richesse spécifique des termites ne varie pas significativement entre les systèmes de cultures (ANOVA, $P > 0,05$). Elle est de 20 espèces dans le système intermédiaire 2. Dans les systèmes ombragés, sans ombrage et intermédiaire 1 la richesse spécifique est respectivement de 18 ; 17 et 16 espèces. Cependant, la comparaison deux à deux de la richesse spécifique dans les différents systèmes d'ombrage indique qu'il y'a une différence significative entre les richesses spécifiques des deux systèmes intermédiaires ($F = 5,78$; $p = 0,022$).

La densité des espèces de termites est relativement faible sur l'ensemble des parcelles et ne varie pas significativement (ANOVA, $p = 0,94$) en fonction du système d'ombrage (Figure 30).

Tableau IX : Liste des espèces de termites de la litière suivant le système d'ombrage

Familles	Sous-familles	Espèces	SSO	SI1	SI2	SO	GT		
Rhinotermitidae	Coptotermitinae	<i>Coptotermes intermedius</i>	*	*	*	*	X		
		<i>Coptotermes sjostedti</i>	*	*	*	*	X		
Termitidae	Rhinotermitinae	<i>Schedorhinotermes lamanianus</i>			*		X		
	Macrotermitinae	<i>Acanthotermes acanthothorax</i>			*				
		<i>Ancistrotermes cavithorax</i>	*	*	*	*	C		
		<i>Ancistrotermes crucifer</i>	*	*	*		C		
		<i>Ancistrotermes guineensis</i>	*	*	*	*	C		
		<i>Macrotermes bellicosus</i>	*	*	*	*	C		
		<i>Macrotermes subhyalinus</i>	*		*	*	C		
		<i>Microtermes subhyalinus</i>	*	*	*	*	C		
		<i>Microtermes thoracalis</i>	*	*	*	*	C		
		<i>Odontotermes sp.1</i>	*	*	*	*	C		
		<i>Odontotermes sp.2</i>			*		C		
		<i>Pseudacanthotermes militaris</i>					*	C	
		Termitinae	<i>Amitermes evuncifer</i>			*	*	*	X
			<i>Microcerotermes edentatus</i>					*	X
	<i>Microcerotermes fuscotibialis</i>		*	*	*	*		X	
	<i>Microcerotermes parvus</i>				*	*	*	X	
	Cubitermitinae	<i>Pericapritermes urgens</i>				*		H	
		<i>Cubitermes fungifaber</i>	*			*		H	
		<i>Cubitermes subcrenulatus</i>	*					H	
<i>Procubitermes fungifaber</i>				*			H		
<i>Procubitermes sjostedti</i>		*					H		
<i>Promirotermes orthocephus</i>						*	*	H	
Nasutitermitinae	<i>Nasutitermes arborum</i>	*	*	*	*		X		
	<i>Nasutitermes diabolus</i>	*				*	X		
	<i>Nasutitermes latifrons</i>	*	*	*	*		X		
Total	2	6	27	17	16	20	18		

*: présence de l'espèce considérée

GT: groupe trophique; **C**: champignonniste ; **H**: Humivore; **X**: xylophage; **SSO**: système sans ombrage; **SI1**: système intermédiaire 1; **SI2**: système intermédiaire 2; **SO**: système ombragé

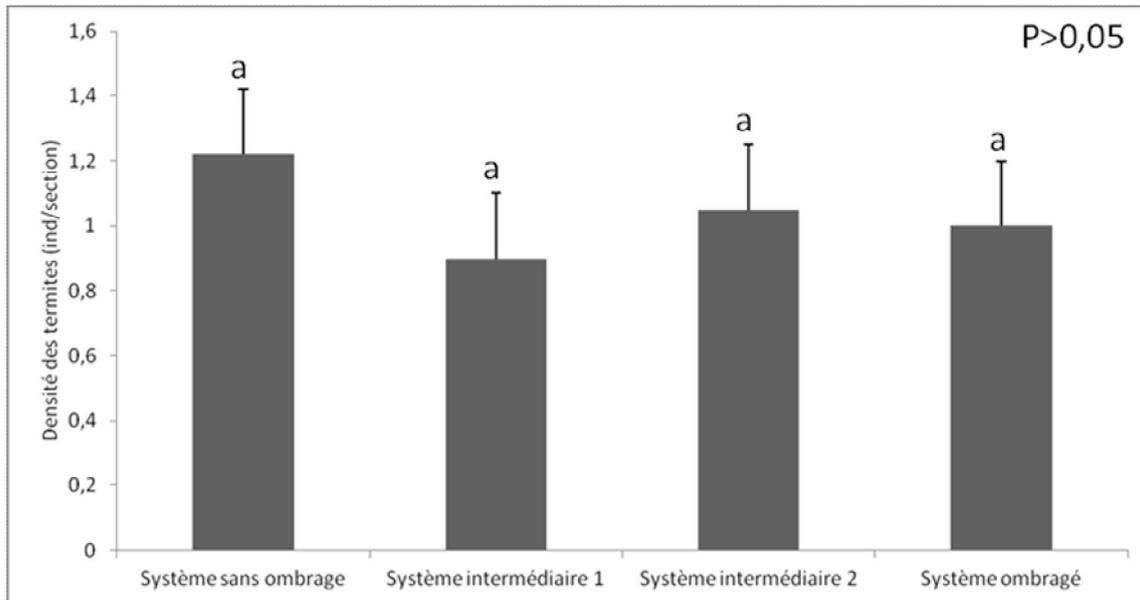


Figure 30 : Variation de la densité des espèces de termites suivant le système de culture.

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% (Test de Turkey).

3.2.1.6.3. Abondance des groupes trophiques des termites de la litière

Les termites récoltés au sol se répartissent en trois groupes trophiques. Ce sont les champignonnistes, les xylophages et les humivores. Aucune espèce de fourrageur n'a été collectée au sol. Le mode d'assemblage des groupes trophiques dans les différents milieux montre que les champignonnistes et les xylophages sont plus présents dans tous les systèmes d'ombrage (Figure 31). Dans le système sans ombrage, les xylophages (52,82%) ont l'abondance relative moyenne la plus élevée suivie de celle des champignonnistes (41,28%). Par contre dans les systèmes intermédiaires et dans le système ombragé, les champignonnistes sont dominants avec des proportions allant jusqu'à plus de 72% dans le second système intermédiaire. Dans le second système intermédiaire, le taux le plus faible de xylophages est observé. Les humivores constituent le groupe trophique le moins abondant dans tous les systèmes d'ombrage avec un taux plus élevé dans le système sans ombrage (5,9%).

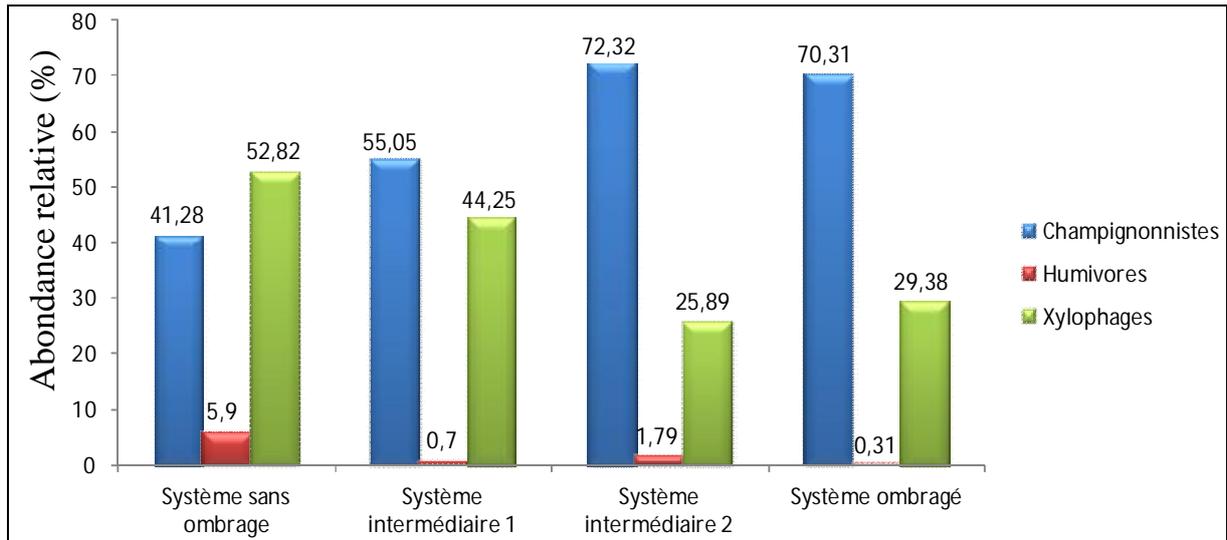


Figure 31: Abondance relative des groupes trophiques de termites

SSO: système sans ombrage; SII: système intermédiaire 1; SI2: système intermédiaire 2; SO: système ombragé.

3.2.1.7. Profil de la distribution des termites

La carte auto-organisatrice de Kohonen (SOM) a permis d'analyser la distribution spécifique des termites des différents systèmes d'ombrage sur la base de leurs occurrences. En tenant compte des erreurs de quantification et de topographie (la matrice retenue est en gras) (Tableau X), une carte de Kohonen composée de 40 cellules (8 lignes x 5 colonnes) a été retenue (Figure 32A). La classification hiérarchique (Figure 32B) réalisée avec le logiciel SOM (Self Organizing Map) a permis de regrouper les 40 cellules de la carte de Kohonen en trois groupes distincts (I, II et III).

Tableau X : Estimation des erreurs de quantification et de topographie des différentes tailles de la carte de Kohonen.

Matrice possible	Erreur de quantification	Erreur topographique
9x4	1,315	0,000
8x5	1,313	0,000
7x6	1,295	0,016

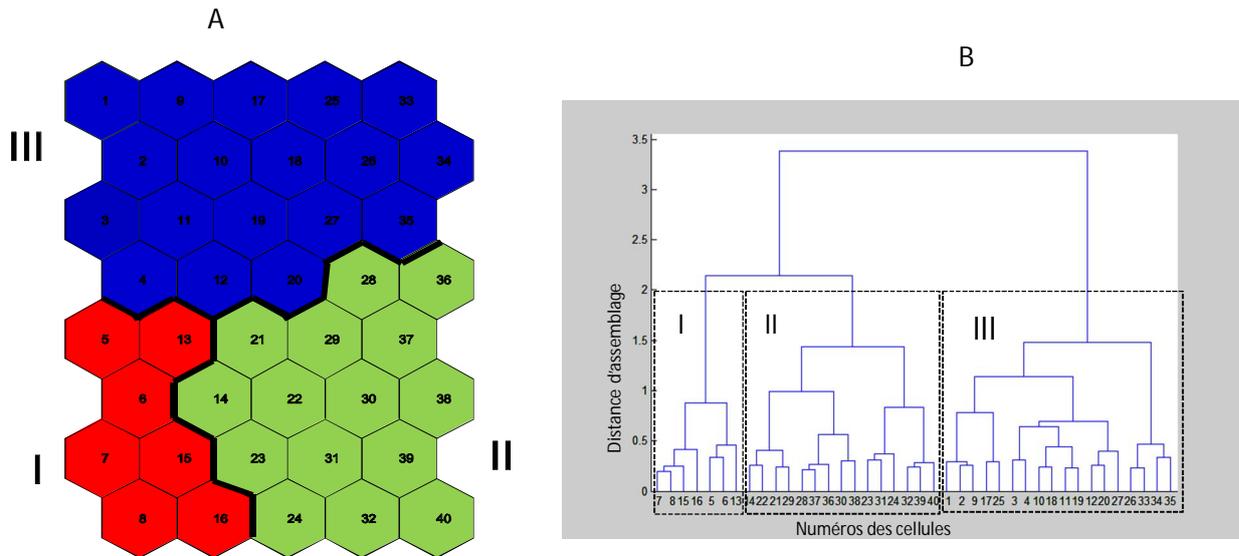


Figure 32: Carte auto-organisatrice de Kohonen composée de 40 cellules (A) et dendrogramme de classification hiérarchique des cellules de la carte de Kohonen(B) sur la base des abondances relatives par espèces de termites.

Les taxons de termites sont subdivisés en trois groupes selon leur fréquence d'occurrence spatio-temporelle.

L'analyse de classification hiérarchique effectuée à partir des abondances relatives des termites définissent les différents groupements de chaque unité (Figure 33). Le groupe I renferme majoritairement les échantillons des quadrats du système sans ombrage tandis que les échantillons issus du groupe II proviennent du système intermédiaire 1. Quant au groupe III, il rassemble majoritairement les échantillons des quadrats issus du système intermédiaire 2 et du système ombragé.

Le profil de distribution des espèces de termites réalisé par la SOM, présente la contribution de chaque taxon dans les différents groupes (Figure 34). L'analyse de la distribution des espèces de termites dans les cellules de la SOM montre les variations de la richesse spécifique dans les groupes formés (Figure 35). Le groupe III avec 17 espèces est relativement le plus riche. Il est suivi par le groupe II (15 espèces) et le groupe I (11 espèces). Le nombre moyen d'espèces entre les groupes est statistiquement identique (Anova, $p = 0,89$).

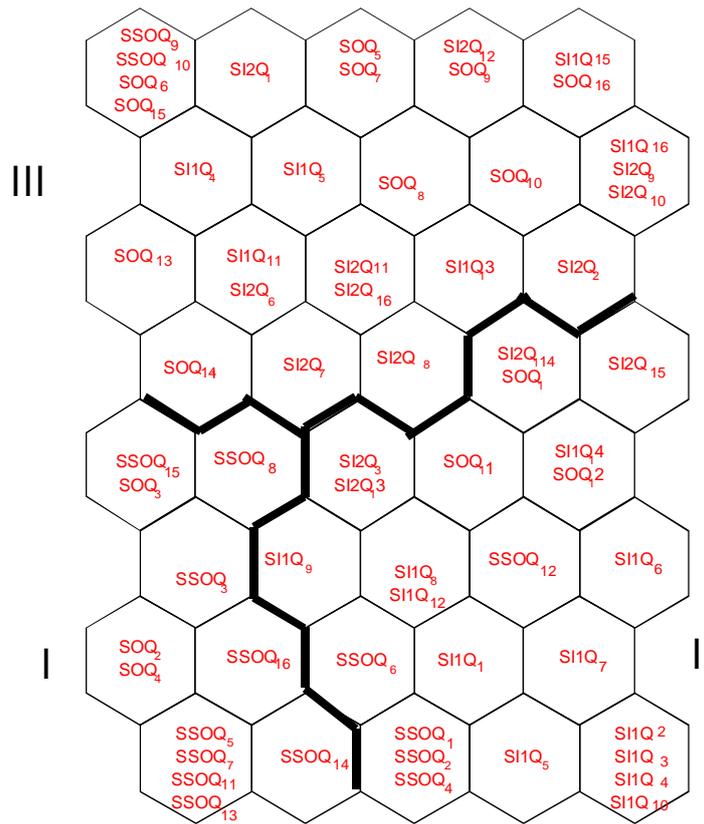
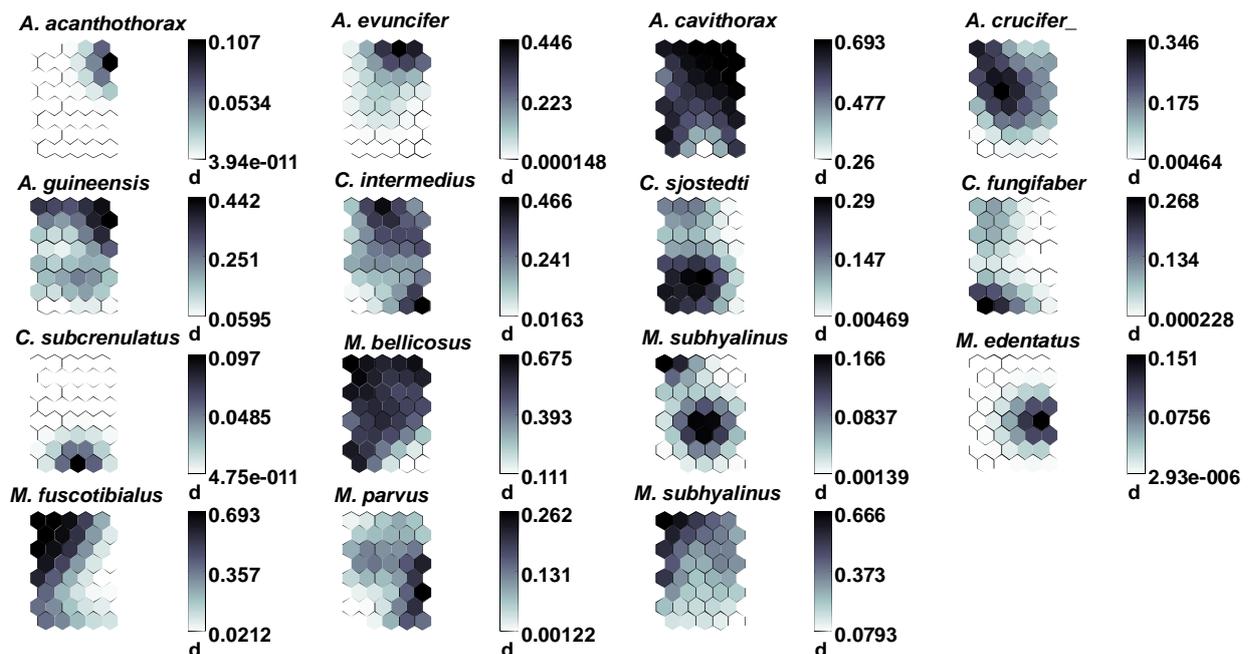


Figure 33 : Distribution en trois groupes (I, II et III) des échantillons dans la SOM à partir des données des abondances relatives des espèces de termites.

SSO: système sans ombrage; SII: système intermédiaire 1; SI2: système intermédiaire 2 ; SO: système ombragé; Q: quadrat. Les lettres suivies des numéros correspondent aux échantillons issus des différents systèmes de culture



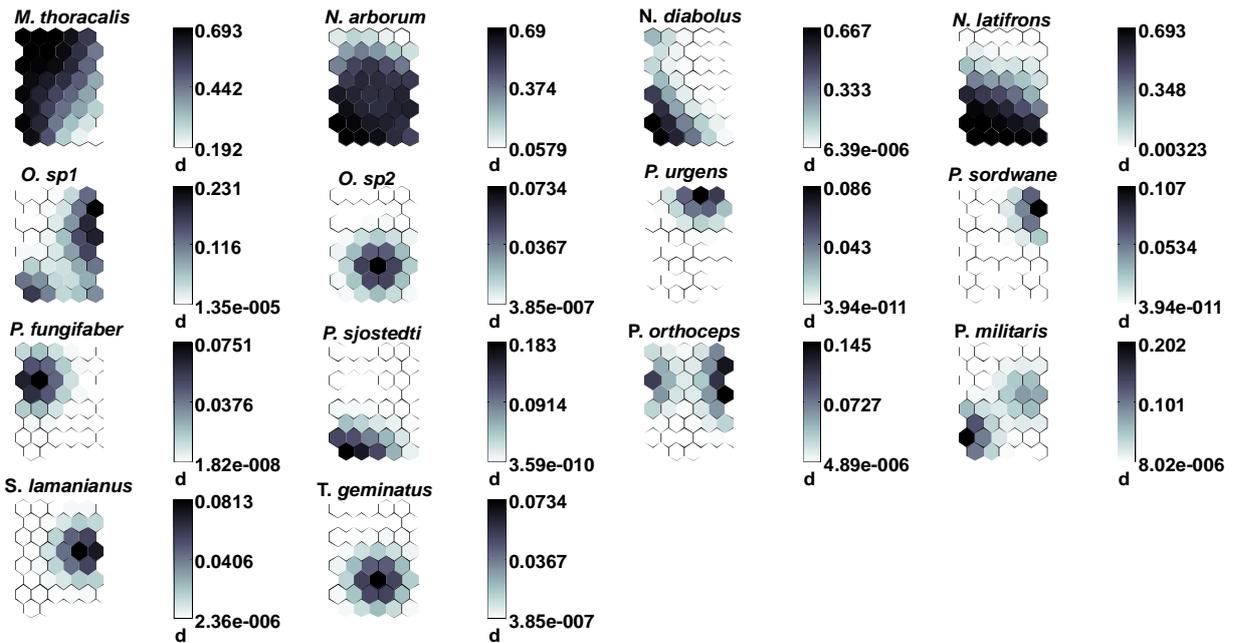


Figure 34 : Profil de distribution des espèces de termites des sites d'études sur la carte de Kohonen à partir des données d'abondances relatives et d'occurrences.

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

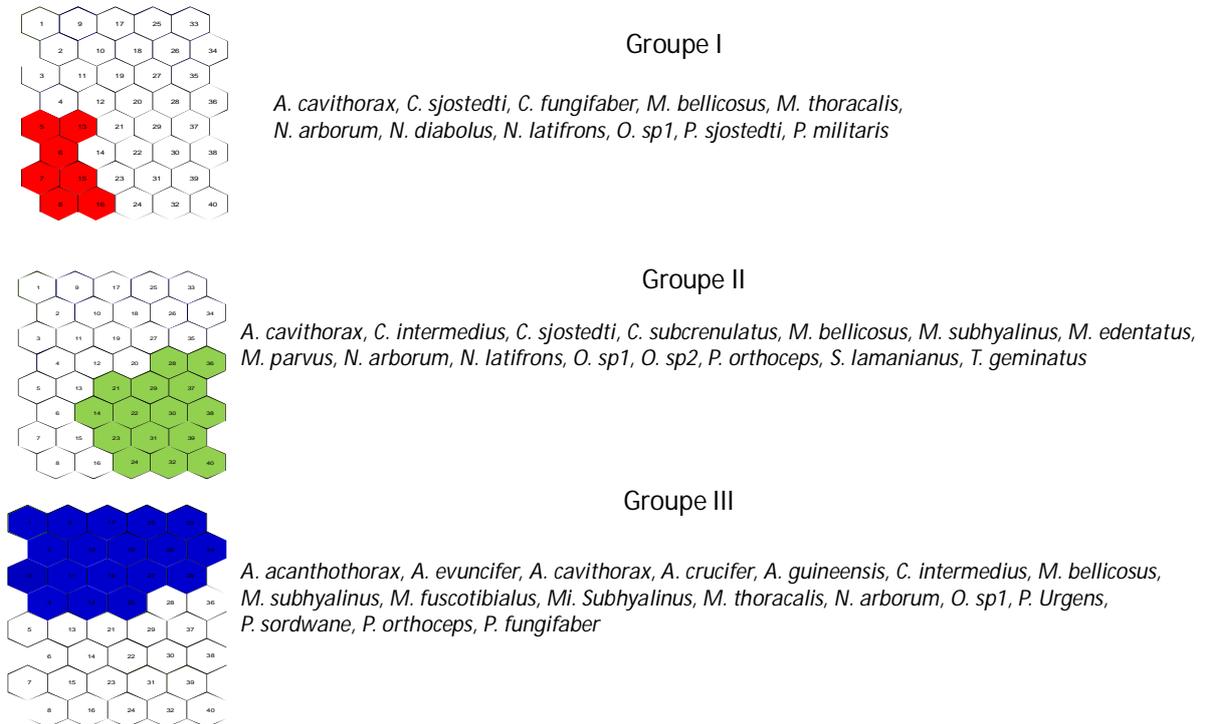


Figure 35 : Distribution des espèces de termites des différents systèmes d'ombrage dans chaque groupe défini par la SOM

3.2.1.8. Attaques et dégâts des termites ravageurs dans les cacaoyers des différents SAFc

3.2.1.8.1. Diversité des termites ravageurs

Au total, 11 espèces de termites ravageurs de cacaoyers ont été collectées sur les plants de cacao. Elles sont regroupées en 7 genres, 4 sous-familles et 3 familles (Tableau XI). Les xylophages présents avec 7 espèces sont les plus diversifiés. Trois espèces de champignonnistes ont été récoltées. Les fourrageurs sont les moins représentés avec une seule espèce. Deux espèces sont communes à tous les milieux. Il s'agit de *M. fuscotibialis* et *N. arborum*. Le système ombragé avec 6 espèces, enregistre le plus grand nombre d'espèces de termites ravageurs tandis que les autres systèmes de culture sont représentés par 5 espèces.

Les termites xylophages constituent le groupe le plus rencontré dans les quatre systèmes d'ombrage avec des proportions allant de 80 à 100% des effectifs échantillonnés (Tableau XII). La proportion des champignonnistes a été plus importante dans le système ombragé avec 20% des effectifs échantillonnés contre 3,03% dans le système sans ombrage. Ce groupe est inexistant dans les systèmes d'ombrage intermédiaire. Le dernier groupe, celui des fourrageurs, n'a été observé que dans le système d'ombrage intermédiaire 1 avec 4,54% des échantillons récoltés.

Tableau XI : Liste des espèces de termites récoltées sur les cacaoyers des différents habitats.

Familles	Sous-familles	Espèces	SSO	SI1	SI2	SO	GT
Rhinotermitidae	Rhinotermitinae						
		<i>Schedorhinotermes lamanianus</i>			*		X
Termitidae	Macrotermitinae						
		<i>Ancistrotermes cavithorax</i>				*	C
		<i>Ancistrotermes guineensis</i>	*			*	C
		<i>Microcerotermes fuscotibialis</i>	*	*	*	*	X
		<i>Microcerotermes parvus</i>		*			X
		<i>Microtermes thoracalis</i>				*	C
	Nasutitermitinae						
		<i>Nasutitermes arborum</i>	*	*	*	*	X
		<i>Nasutitermes diabolus</i>	*			*	X
		<i>Nasutitermes latifrons</i>	*	*	*		X
		<i>Trinervitermes geminatus</i>		*			F
Kalotermitidae	Kalotermitinae						
		<i>Postelectrotermes sordwane</i>			*		X
Total		11	5	5	5	6	

SSO: système sans ombrage; SI1: système intermédiaire 1; SI2: système intermédiaire 2; SO: système ombragé; GT: groupe trophique

Tableau XII : Proportion des groupes trophiques de termites des systèmes de culture (en %)

Groupe trophique	SSO	SI1	SI2	SO
Champignonnistes	3,03	-	-	20
Xylophages	96,97	95,45	100	80
Fourrageurs	-	4,54	-	-

SSO: système sans ombrage; SI1: système intermédiaire 1; SI2: système intermédiaire 2; SO: système ombragé

3.2.1.8.2. Bilan des attaques de termites sur les cacaoyers dans les différents systèmes agroforestiers

Les 11 espèces de termites collectées sont responsables d'un nombre important de dégâts sur les cacaoyers. L'analyse quantitative des attaques de termites sur les cacaoyers révèle que sur un total de 6045 pieds de cacaoyers examinés, 41,82% des pieds présentent des attaques de termites (Tableau XIII). La présence d'activité ou de traces d'activités de termites ont été observées sur l'ensemble des parcelles des différents systèmes d'ombrage. Les attaques de termites portent principalement sur les tiges et branches des cacaoyers. Les attaques de termites sont plus élevées dans le système sans ombrage, tandis que les systèmes intermédiaires sont les moins attaqués. Dans les systèmes de gestion intermédiaires, le taux moyen d'attaque s'élève à 29,1% et 27,87% respectivement pour le système intermédiaire 1 et le système intermédiaire 2. Par contre dans le système plein soleil, le taux moyen d'attaque est de 61,49%. Dans les systèmes ombragés le taux d'attaque est de 44,32%.

Deux catégories de dégâts ont été observées sur les cacaoyers (Figure 36). En considérant le nombre moyen de cacaoyers présentant des dégâts mineurs (T1) par quadrat, une différence significative (Anova, $F = 22,828$; $p < 0,0001$) est observée au niveau des différents systèmes agroforestiers (Tableau XIV). Les dégâts mineurs sont plus importants dans le système sans ombrage, tandis qu'ils sont plus faibles dans le système intermédiaire 2. Au niveau des dégâts majeurs, une différence significative est également observée entre les différents systèmes agroforestiers. Les cacaoyers présentant des dégâts majeurs sont plus abondants dans le système sans ombrage mais plus faible dans les autres systèmes agroforestiers. Dans les différents systèmes agroforestiers, le système intermédiaire 1 présente une abondance plus élevée de cacaoyers sains alors que l'abondance la plus faible de cacaoyers sains est observée dans le système sans ombrage. Une différence significative (Anova, $F = 4,71$; $p = 0,0051$) est observée entre les différents systèmes agroforestiers en considérant le nombre de cacaoyers sains. De l'analyse des résultats quantitatifs, il ressort que les dégâts du type I sont

numériquement plus élevés par rapport aux dégâts du type II dans tous les systèmes de culture.

Les fréquences d'attaques des 11 espèces ont été comparées sur l'ensemble des systèmes d'ombrage pour identifier les espèces les plus agressives sur les plants de cacaoyers. Dans l'ensemble, le taux d'attaque moyen des différentes espèces de termites est statistiquement identique (ANOVA, $p=0,057$). Cependant la comparaison des taux moyens d'attaques par espèce et par système d'ombrage fait apparaître des différences entre les taux d'attaque de chaque espèce (Figure 37). Dans le système intermédiaire 1, les espèces *N. latifrons*, *N. arborum* et *M. parvus* ont les taux d'attaque les plus élevés. Les espèces les plus agressives dans le système intermédiaire 2 sont : *N. latifrons*, *N. arborum* et *M. fuscotibialis*. Dans le système sans ombrage, les espèces *N. latifrons*, *N. arborum* et *N. diabolus* sont les espèces qui causent le plus de dégâts. Par contre les espèces *N. diabolus*, *N. arborum* et *M. fuscotibialis* sont les termites ravageurs qui ont causées le plus de dégâts dans le système ombragé.

En se basant sur la codification des indices de fréquence, les espèces de termites identifiées peuvent être réparties en quatre classes dans le système intermédiaire 1 (Tableau XV). Ce système est constitué d'une espèce assez fréquente, d'une espèce accessoire, d'une espèce accidentelle et de deux espèces très rares. Le système sans ombrage est constitué de deux espèces accessoires, une espèce accidentelle et deux espèces très rares. Trois espèces accessoires et deux espèces très rares caractérisent le système intermédiaire 2. Une espèce accidentelle est observée dans le système ombragé.

Tableau XIII : Proportion des cacaoyers attaqués dans les différents systèmes de cultures

Systèmes de culture	Cacaoyers sains		Cacaoyers attaqués		Nombre total de plants
	Nombre de plants	Proportion (%)	Nombre de plants	Proportion (%)	
SSO	679	38,51	1084	61,49	1763
SI1	1094	70,9	449	29,1	1543
SI2	960	72,13	371	27,87	1331
SO	784	55,68	624	44,32	1408
Total	3517	58,18	2528	41,82	6045

SSO: système sans ombrage; **SI1**: système intermédiaire 1; **SI2**: système intermédiaire 2; **SO**: système ombragé

Tableau XIV : Nombre moyen de cacaoyers présentant des dégâts par quadrat

	Cacaoyers sains	Dégâts mineurs (T1)	Dégâts majeurs (T2)
SSO	42,44 ± 3,95 a	59,75 ± 4,74 c	8,0 ± 0,79 b
SI1	68,38 ± 5,71 b	24,19 ± 3,61 ab	3,88 ± 1,02 a
SI2	60,00 ± 4,62 ab	20,56 ± 3,0 8a	2,62 ± 0,37 a
SO	49,0 ± 6,56 ab	34,5 ± 3,13 b	4,5 ± 0,40 a
F	4,71	22,828	10,7497
p	0,0051	< 0,0001	< 0,0001

SSO: système sans ombrage; **SI1**: système intermédiaire 1; **SI2**: système intermédiaire 2; **SO**: système ombragé. Dans une même colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% (Test de Turkey).



Figure 36 : Dégâts de termites sur les cacaoyers

b : dégât mineur ; a et c : dégâts majeurs

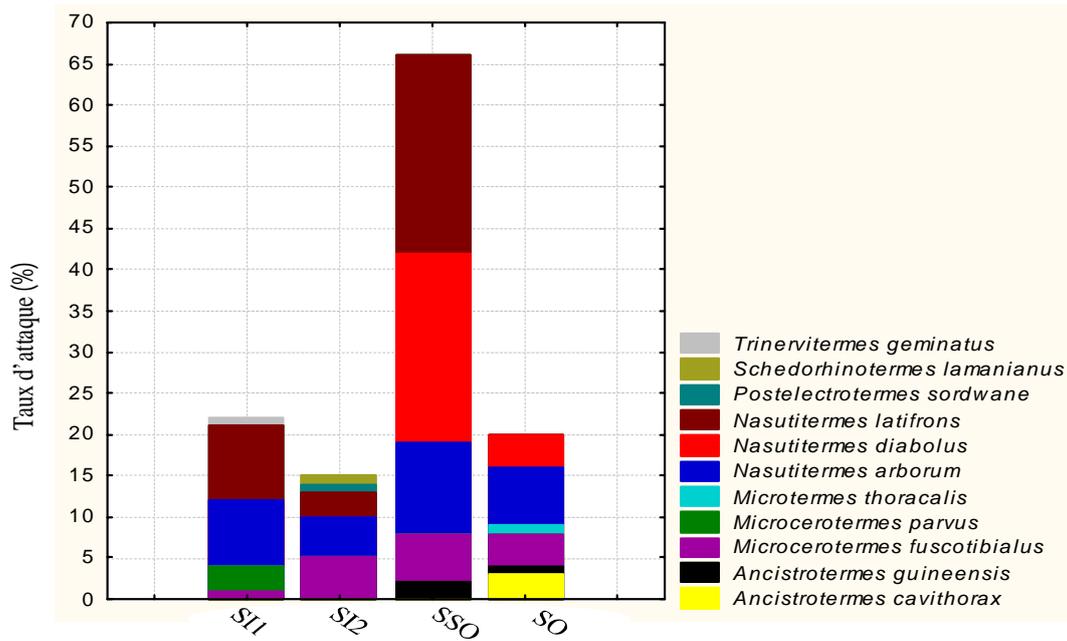


Figure 37 : Proportion d'attaque des différentes espèces de termites par système d'ombrage

SSO: système sans ombrage; SI1: système intermédiaire 1; SI2 : système intermédiaire 2; SO: système ombragé

Tableau XV : Classification des espèces selon les fréquences d'attaques

Fréquences (%)	Caractéristiques	SSO	SI1	SI2	SO
40 < F < 60	Espèces assez fréquentes	<i>N. latifrons</i> (40,91%)			
20 < F < 40	Espèces accessoires	<i>N. diabolus</i> (34,85%) <i>N. latifrons</i> (36,36%)	<i>N. arborum</i> (36,36%)	<i>M. fuscotibialis</i> (33,33%) <i>N. arborum</i> (33,33%) <i>N. latifrons</i> (20%)	<i>M. fuscotibialis</i> (20%) <i>N. arborum</i> (35%) <i>N. diabolus</i> (20%)
10 < F < 20	Espèces accidentelles	<i>N. arborum</i> (16,67%)	<i>M. parvus</i> (13,65%)		<i>A. cavithorax</i> (15%)
F < 10	Espèces très rares	<i>A. guineensis</i> (3,03) <i>M. fuscotibialis</i> (9,09)	<i>M. fuscotibialis</i> (4,54%) <i>T. geminatus</i> (4,54%)	<i>P. sordwane</i> (6,67%) <i>S. lamanianus</i> (6,67%)	<i>A. guineensis</i> (5%) <i>M. thoracalis</i> (5%)

SSO: système sans ombrage; SI1: système intermédiaire 1; SI2: système intermédiaire 2; SO: système ombragé

3.2.1.8.3. Abondance relative des cacaoyers attaqués

L'étude de l'abondance relative des cacaoyers attaqués dans chacun des quatre systèmes d'ombrage permet d'observer une variation significative de l'abondance relative des attaques ($p = 0,001$) (Figure 38). L'abondance relative des cacaoyers attaqués est plus élevée dans le système sans ombrage tandis que le système intermédiaire 2 enregistre l'abondance relative la plus faible. Le test Kruskal-Wallis indique que l'abondance relative observée dans le système sans ombrage est significativement plus élevée que celle des autres systèmes d'ombrage. De même une différence significative a été observée entre l'abondance relative obtenue dans le système ombragé et les autres systèmes d'ombrage. Par contre aucune différence statistique n'est observée entre les abondances relatives des cacaoyers attaqués dans les deux systèmes intermédiaires.

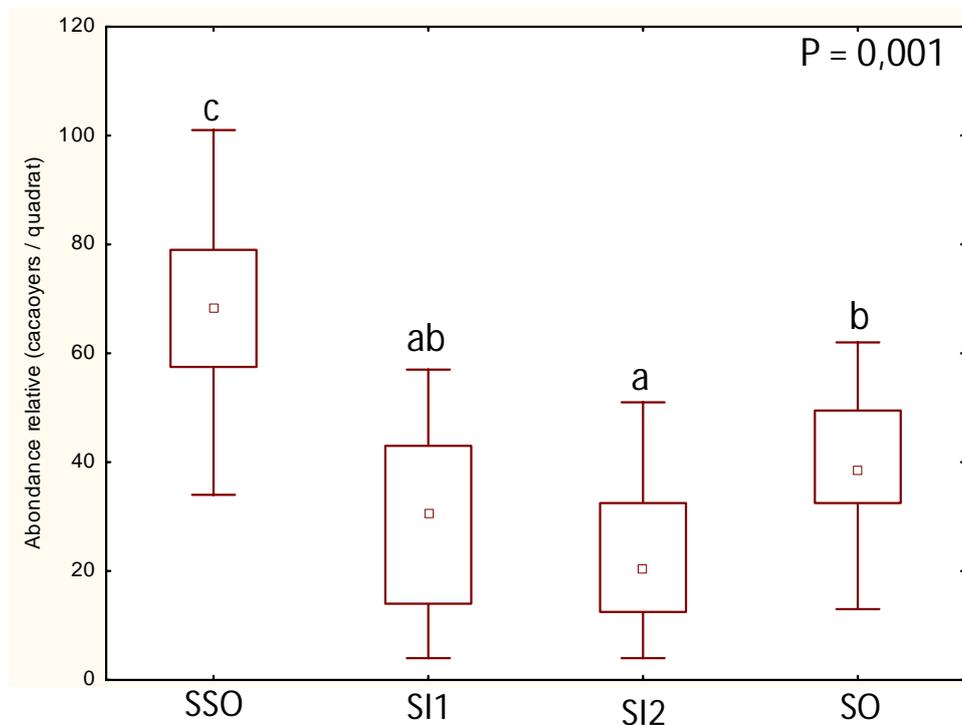


Figure 38: Abondance relative des cacaoyers attaqués

SSO: système sans ombrage; **SI1:** système intermédiaire 1; **SI2:** système intermédiaire 2; **SO:** système ombragé. Les moyennes affectées de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Test de Kruskal-Wallis).

3.2.1.9. Evaluation de l'impact des infestations de termites sur les rendements en cacao marchands

3.2.1.9.1. Nombre moyen de cabosses par cacaoyer selon les systèmes d'ombrage

En fonction de l'état sanitaire du cacaoyer et du type de cacao, le nombre de cabosses diffère d'un système agroforestier à un autre (Tableau XVI). Dans le système plein soleil, le nombre moyen de cabosses par pied de cacaoyer dans les quatre parcelles varie de $13,91 \pm 1,54$ à $9,87 \pm 1,58$ pour les cacaoyers sains et de $13,66 \pm 2,25$ à $9,16 \pm 1,21$ pour les cacaoyers infestés sans qu'il ait une différence significative. Aucune différence significative du nombre moyen de cabosses par cacaoyer dans le premier système intermédiaire n'est observée. Par contre dans le second système intermédiaire, une différence significative du nombre moyen de cabosses par cacaoyer au niveau des cacaoyers sains est observée. Le nombre moyen de cabosses varie de $14,16 \pm 1,65$ pour la parcelle 4 à $8,58 \pm 0,69$ pour la parcelle 1 avec une significativité de $p=0,011$. Dans le système ombragé, aucune différence significative du nombre moyen de cabosses par cacaoyer au sein des cacaoyers sains n'est observée. En revanche, il existe une différence significative entre le nombre moyen de cabosses par cacaoyer au niveau des cacaoyers infestés. Ce nombre moyen varie de $10,87 \pm 2,03$ (parcelle 1) à $5,29 \pm 0,69$ (parcelle 3) ($p = 0,009$).

3.2.1.9.2. Masse moyenne d'une cabosse de cacao en fonction de l'état sanitaire du cacaoyer

La masse moyenne d'une cabosse de cacaoyer sain varie significativement (ANOVA, $p = 0,001$) dans les parcelles du système sans ombrage (Tableau XVII). Elle est plus élevée dans la parcelle 3 (664,19 g) et plus faible dans les parcelles 1 et 2 (534,28 et 506,69 g). Elle varie également de manière significative (ANOVA, $p = 0,003$) entre les parcelles des cacaoyers infestés du système sans ombrage. Elle est plus élevée dans les parcelles 3 et 4 (580,58 g et 561,83 g), mais plus faible dans la parcelle 1 (457,08 g). En revanche il n'existe pas de différence statistique sur la masse moyenne des cabosses des parcelles des systèmes intermédiaires. Dans le système ombragé, la différence de masse des cabosses est observée au niveau des cacaoyers infestés (Anova, $p = 0,04$). Dans ces parcelles, la masse moyenne des cabosses varie entre 404,52 g pour la parcelle 3 à 514,5 g pour la parcelle 1.

3.2.1.9.3. Nombre moyen de fèves par cabosse en fonction de l'état sanitaire du cacaoyer

Dans le système sans ombrage, le nombre moyen de fèves par parcelle est statiquement identique dans les cacaoyers sains (Tableau XVIII). Par contre, la différence est significative

au niveau des cacaoyers infestés ($p = 0,029$) où le nombre moyen de fèves est plus élevé dans la parcelle 2 ($39,92 \pm 1,19$ graines) et plus faible dans la parcelle 1 ($33,81 \pm 1,65$ graines). Dans le système intermédiaire 1, la différence est significative ($p = 0,003$) dans les différentes parcelles entre le nombre moyen de fèves par cabosse des cacaoyers infestés (de 31,22 à 38,11). Par contre dans les parcelles du système intermédiaire 2, c'est au niveau des cacaoyers sains qu'il existe une différence significative ($p = 0,016$) entre le nombre moyen de fèves (de 34,81 à 39,83). Aucune différence significative n'a été observée entre le nombre moyen de fèves d'une cabosse au niveau des cacaoyers infestés du système ombragé. En revanche, une différence significative du nombre moyen de fèves d'une cabosse des cacaoyers sains est observée ($p < 0,0001$) dans ce système. Ce nombre moyen de fèves varie de $32,17 \pm 1,67$ à $40,94 \pm 0,98$ graines.

3.2.1.9.4. Masse moyenne de fèves fraîches d'une cabosse en fonction de l'état sanitaire du cacaoyer

La masse moyenne de fèves fraîches d'une cabosse varie significativement dans tous les systèmes d'ombrage hormis le système intermédiaire 1 et dans les cacaoyers infestés du système intermédiaire 2 où aucune différence statistique n'a été trouvée (Tableau XIX). Dans le système plein soleil, la masse moyenne des fèves fraîches d'une cabosse varie de 143,56 g (P2) à 194,97 g (P3) pour les cacaoyers sains. Par contre dans les cacaoyers infestés, la masse moyenne des fèves oscille entre 140,22g et 170,36 g. La masse moyenne de fèves fraîches des cacaoyers sains du système intermédiaire 2 varie significativement ($p = 0,0003$) de 116,81 g pour la parcelle 3 à 162,36 g pour la parcelle 4. Dans le système ombragé, la différence entre la masse moyenne des fèves est observée aussi bien dans les cacaoyers sains que dans les cacaoyers infestés. La masse moyenne des fèves varie de 119,39 g à 152,72 g dans les cacaoyers sains ($p = 0,011$) et de 123,22g à 151,97g pour les cacaoyers infestés ($p = 0,018$).

Tableau XVI : Nombre moyen de cabosses par cacaoyer selon l'état sanitaire du cacaoyer

		Système sans ombrage		Système intermédiaire 1		Système intermédiaire 2		Système ombragé	
		CS	CI	CS	CI	CS	CI	CS	CI
Nombre de cabosses	P1	13,5,0±1,57 a	11,5±1,76 a	10,25±1,76 a	7,96±1,43 a	8,58±0,69 a	7,71±1,03 a	11,08±1,65 a	10,87±2,03 b
	P2	13,91±1,54 a	11,79±1,79 a	10,75±1,66 a	9,91±3,06 a	8,46±1,45 a	7,46±1,28 a	9,54±1,2 a	6,12±0,63 a
	P3	13,75±2,00 a	9,16±1,21 a	13,28±2,71 a	12,41±1,57 a	10,16±1,23 ab	8,46±1,26 a	6,54±0,75 a	5,29±0,69 a
	P4	9,87±1,58 a	13,66±2,25 a	9,75±1,0 a	7,91±1,06 a	14,16±1,65 b	11,58±1,68 a	13,25±2,62 a	6,96±0,75 ab
	p	0,283	0,376	0,559	0,321	0,011	0,124	0,055	0,009

P1 : Parcelle 1 ; **p** : Probabilité ; **CS** : Cacaoyers sains ; **CI** : Cacaoyers infestés. Dans une même colonne, les valeurs portant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (test de Tukey).

Tableau XVII : Masse moyenne d'une cabosse de cacao selon l'état sanitaire du cacaoyer

		Système sans ombrage		Système intermédiaire 1		Système intermédiaire 2		Système ombragé	
		CS	CI	CS	CI	CS	CI	CS	CI
Masse des cabosses	P1	534,28±23,63 a	457,08±21,01 b	496,28±26,08 a	413,39±19,21 a	477,78±28,54 a	431,14±23,36 a	501,28±26,73 a	514,5±31,72 b
	P2	506,69±34,44 a	512,11±22,04 ab	461,0±15,66 a	411,19±13,63 a	467,64±26,55 ab	416,27±18,51 a	482,89±21,89 a	454,72±24,11 ab
	P3	664,19±27,03 b	580,58±33,13 a	479,92±26,72 a	430,83±25,73 a	432,89±2,057 ab	440,75±18,20 a	463,06±26,29 a	404,52±19,29 a
	P4	557,89±31,52 ab	561,83±23,48 a	552,36±40,32 a	428,33±27,08 a	528,08±20,13 b	448,72±28,78 a	458,89±24,21 a	476,92±31,64 ab
	p	0,001	0,003	0,132	0,89	0,05	0,767	0,604	0,04

P1 : Parcelle 1 ; **p** : Probabilité ; **CS** : Cacaoyers sains ; **CI** : Cacaoyers infestés. Dans une même colonne, les valeurs portant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (test de Tukey).

Tableau XVIII : Nombre moyen de fèves par cabosse selon l'état sanitaire du cacaoyer

		Système sans ombrage		Système intermédiaire 1		Système intermédiaire 2		Système ombragé	
		CS	CI	CS	CI	CS	CI	CS	CI
Nombre de fèves par cabosse	P1	36,42±1,85 a	33,81±1,65 a	40,92±0,95 a	37,36±1,34 a	35,58±1,4 ab	38,25±1,22 a	40,94±0,98 b	35,11±1,97 a
	P2	38,31±2,01a	39,92±1,19 b	36,72±0,88 a	35,78±1,10 ab	38,72±1,08 ab	36,75±1,2 a	32,56±1,57 a	38,67±1,85 a
	P3	40,52±1,24 a	38,81±1,79 ab	39,17±1,29 a	38,11±1,68 a	34,81±1,19 a	36,53±1,15 a	39,0±1,48 b	39,22±1,68 a
	P4	36,69±1,76 a	38,67±1,49 ab	38,30±1,8 a	31,22±1,42 b	39,83±1,44 b	33,53±1,77 a	32,17±1,67 a	39,83±1,4 a
	p	0,32	0,029	0,141	0,003	0,016	0,101	< 0,0001	0,223

P1 : Parcelle 1 ; **p** : Probabilité ; **CS** : Cacaoyers sains ; **CI** : Cacaoyers infestés. Dans une même colonne, les valeurs portant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Test de Tukey)

Tableau XIX: Masse moyenne des fèves fraîches d'une cabosse selon l'état sanitaire du cacaoyer

		Système sans ombrage		Système intermédiaire 1		Système intermédiaire 2		Système ombragé	
		CS	CI	CS	CI	CS	CI	CS	CI
Masse des fèves fraîches	P1	156,67±6,69 a	140,22±7,02 b	150,44±6,11 a	125,917±5,33 a	135,14±9,27 ab	126,39±6,1 a	152,72±6,96 b	150,97±8,65 a
	P2	143,56±9,38 a	159,39±6,83 ab	131,47±5,57 a	128,05±4,21 a	137,78±7,58 b	129,08±5,04 a	119,39±6,43 a	132,83±7,53 ab
	P3	194,97±7,71 b	170,36±10,21 a	143,03±7,46 a	125,83±8,01 a	116,81±5,05 a	132,14±5,12 a	139,44±7,54 ab	123,22±5,97 b
	P4	152,88±9,62 a	167,84±6,86 a	155,06±10,43 a	118,0±6,5 a	162,36±6,6 c	122,83±7,85 a	139,08±7,15 ab	151,97±7,85 b
	p	0,0002	0,033	0,146	0,674	0,0003	0,741	0,011	0,018

P1 : Parcelle 1 ; **p** : Probabilité ; **CS** : Cacaoyers sains ; **CI** : Cacaoyers infestés. Dans une même colonne, les valeurs portant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Test de Newman-Keuls).

3.2.1.9.5. Effet des infestations de termites sur le rendement en cacao marchands

Le nombre moyen de cabosses par cacaoyer varie au niveau des cacaoyers infestés (Anova, $F = 14,63$, $p = 0,0037$) (Tableau XX). Il est de 7,31 cabosses / cacaoyer pour le système ombragé et de 11,53 cabosses / cacaoyer pour le système plein soleil. Par contre au niveau des cacaoyers sains le nombre moyen de cabosses par cacaoyer ne varie pas d'un système à un autre. Au niveau des cacaoyers sains une variation significative de la masse moyenne d'une cabosse est observée. Elle varie de 476,53g pour le système ombragé à 565,76 g pour le système sans ombrage (Anova, $F = 9,548$, $p < 0,0001$). Il en est de même au niveau des cacaoyers infestés où la masse moyenne d'une cabosse varie (Anova, $F = 14,81$, $p < 0,0001$) de 420,94 g pour le système intermédiaire 1 à 527,90 g pour le système sans ombrage. Dans les cacaoyers sains, la masse moyenne des fèves fraîches varie de 137,66 g à 162,02 g respectivement pour le système sans ombrage et le système ombragé, puis de 124,45 g à 159,40 g pour le système sans ombrage et pour le système intermédiaire 1 dans les cacaoyers infestés.

La quantité de cacao marchand produite par hectare a été déterminée en considérant la densité moyenne des cacaoyers (nombre de cacaoyers / hectare) dans chaque système agroforestier. Les parcelles étant des plantations paysannes, la plupart de ces parcelles ne respectent pas la densité recommandée (1333 cacaoyers / hectare) par les structures dont l'expertise est reconnue dans le domaine. Chaque producteur applique plutôt une densité selon sa volonté. Ainsi dans la localité de Takoragui (système sans ombrage), la densité moyenne des cacaoyers est de 1224,3 cacaoyers / ha. Les systèmes intermédiaires ont des densités moyennes de 1071,52 cacaoyers / ha et de 924,3 cacaoyers / ha, respectivement pour le système intermédiaire 1 et le système intermédiaire 2. Le système ombragé a une densité moyenne égale à 977,78 cacaoyers / ha. En considérant l'état sanitaire des cacaoyers (cacaoyers sains ou cacaoyers attaqués), le rendement en cacao marchand varie également de manière significative d'un système agroforestier à un autre. Au niveau des cacaoyers sains le rendement varie (Anova, $F = 5,84$; $p = 0,011$) de 448,92 kg / ha / an pour le système intermédiaire 2 à 860,57 kg/ha/an pour le système sans ombrage. Le rendement varie également (Anova, $F = 11,2$; $p = 0,0008$) dans les cacaoyers infestés de 339,62 kg / ha / an à 765,04 kg / ha / an respectivement pour le système ombragé et le système plein soleil. L'estimation du rendement des cacaoyers sains et des cacaoyers infestés permet de distinguer nettement une différence entre les rendements dans les différents SAFc. Dans le système plein soleil, une différence de rendement de 95,53 kg / ha soit 11,11% de perte de rendement est

observée. Dans les systèmes intermédiaires, la perte de rendement est 148,5 kg / ha (25,54%) et 96,01 kg / ha (21,38) respectivement pour le système intermédiaire 1 et le système intermédiaire 2. La perte de rendement dans le système ombragé est de 122,6 kg / ha soit 26,52%.

En considérant chaque système de culture, le nombre moyen de cabosses par cacaoyer varie significativement d'un système à un autre (Tableau XXI). Il est plus élevé dans le système sans ombrage (12 cabosses / cacaoyer) et plus faible dans le système ombragé (8,81 cabosses / cacaoyer). La masse moyenne d'une cabosse varie significativement dans les différents systèmes agroforestiers du cacaoyer. La plus grande valeur de la masse moyenne d'une cabosse (542,47 g) est observée au niveau du système sans ombrage. La masse de la cabosse est statistiquement la même dans les systèmes intermédiaires et dans le système ombragé. Le nombre moyen de fèves par cabosse ne diffère pas dans les différents systèmes agroforestiers quelque soit l'état sanitaire du cacaoyer. En revanche, la masse des fèves fraîches varie d'un système agroforestier à un autre. Elle varie de 135,12 g au niveau du système intermédiaire 1 à 160,41 au niveau du système sans ombrage. Le nombre moyen de cabosses, la masse moyenne des fèves fraîches et la densité moyenne des cacaoyers dans les différents systèmes agroforestiers ont permis d'estimer le rendement en cacao marchand des différents SAFc. La quantité de cacao marchand produite par hectare dans l'année varie entre les différents SAFc. Elle est plus élevée dans le système sans ombrage (801,83 kg / ha) et plus faible dans le système ombragé (407,88 kg / ha). Pour tous les systèmes de culture, le rendement potentiel en cacao marchand est lié positivement au nombre moyen de cabosses par cacaoyer. Par contre, le rendement potentiel en cacao marchand n'est pas corrélé à la densité des cacaoyers.

Tableau XX: Paramètres agronomiques des cacaoyers selon l'état sanitaire

Paramètres agronomiques	Nombre moyen de cabosses / cacaoyer		Masse moyenne d'une cabosse (g)		Nombre moyen de fèves / cabosse		Masse moyenne des fèves fraîches (g)		Densité (cacaoyers/ha)	Rendement en cacao marchand	
	CS	CI	CS	CI	CS	CI	CS	CI		CS	CI
	Système plein soleil	12,76±0,85 a	11,53±0,9 b	565,76±15,4 b	527,90±13,18 b	37,99±0,87 a	37,80±0,79 a	162,02±4,49 b	159,40±4,01 c	1224,3	860,57 b
Système intermédiaire 1	11,01±0,94 a	9,55±0,98 ab	497,39±14,42 a	420,94±10,95 a	38,78±0,65 a	35,62±0,73 a	145,0±3,85 a	124,45±3,07 a	1071,52	581,49 ab	432,99 a
Système intermédiaire 2	10,35±0,71 a	8,8±0,69 ab	476,6±12,28 a	434,22±11,24 a	37,24±0,66 a	36,26±0,69 a	138,02±3,85 a	127,61±3,05 ab	924,3	448,92 a	352,91 a
Système ombragé	10,1±0,9 a	7,31±0,65 a	476,53±12,38 a	462,67±13,86 a	36,17±0,79 a	38,21±0,88 a	137,66±3,62 a	139,75±3,88 b	977,78	462,22 a	339,62 a
F	1,97	14,63	9,548	14,81	2,21	2,528	8,28	20,12		5,84	11,23
p	0,119	0,0037	< 0,0001	< 0,0001	0,086	0,0565	< 0,0001	< 0,0001		0,011	0,0008

F: Degré de variabilité ; p: Probabilité ; CS : Cacaoyers sains ; CI : Cacaoyers infestés. Dans une même colonne, les valeurs portant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Test de Newman-Keuls).

Tableau XXI : Paramètres agronomiques des cacaoyers dans les différents SAFc

Paramètres agronomiques	Nombre moyen de cabosses / cacaoyer	Masse moyenne d'une cabosse (g)	Nombre moyen de fèves /par cabosse	Masse moyenne de fèves fraîches (g)	Rendement en cacao marchand (Kg/ha/an)
Système plein soleil	12 b	542,47 b	37,87 a	160,41 b	801,83 b
Système intermédiaire 1	10,58 ab	475,14 a	37,86 a	139,02 a	538,28 ab
Système intermédiaire 2	9,92 ab	464,79 a	36,97 a	135,12 a	422,16 a
Système ombragé	8,81 a	470,39 a	37,07 a	138,59 a	407,88 a
p	0,034	0,001	0,86	0,001	0,021

CS : Cacaoyers sains ; CI : Cacaoyers infestés. Dans une même colonne, les valeurs portant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Test de Newman-Keuls)

3.2.2. Diversité et abondance des fourmis suivant les différents systèmes de cultures de cacao

3.2.2.1. Richesse spécifique et efficacité des méthodes d'échantillonnages des fourmis

L'efficacité de la méthode d'échantillonnage utilisée a été testée par le rapport richesse spécifique observée sur richesse spécifique estimée. La richesse spécifique observée correspond au moins à 63 % de celle attendue dans les différents systèmes d'ombrage (Tableau XXII). Le nombre d'espèces estimé est égal à 28 et 31 espèces respectivement pour le système sans ombrage et pour le système intermédiaire 1. Le plus grand nombre d'espèces estimé a été obtenu dans le système intermédiaire 2 (50 espèces). Le système ombragé enregistre la plus faible valeur de la richesse spécifique estimée (21 espèces). Le système ombragé représente le système de culture qui renferme le moins d'espèces uniques (2 espèces) comparativement aux autres systèmes de culture. Le système intermédiaire 2 possède le plus grand nombre d'espèces uniques avec 12 espèces.

3.2.2.2. Composition spécifique des fourmis

Au total, 63 espèces de fourmis regroupées en 30 genres et 07 sous-familles ont été collectées dans l'ensemble des systèmes de cultures (Tableau XXIII). Le système intermédiaire 2 est le système de culture le plus riche en espèces de fourmis avec 50 espèces. Le système ombragé est le moins riche en espèces de fourmis (21 espèces). Globalement, la richesse spécifique moyenne des fourmis varie significativement suivant les systèmes d'ombrage (ANOVA, $F = 14,17$; $p < 0,001$). Les valeurs de l'indice de diversité de Simpson sont élevées dans tous les systèmes d'ombrage. Les valeurs de l'indice d'équitabilité sont également élevées, ce qui montre une bonne répartition des abondances relatives au sein des espèces. Cependant, la différence entre les indices d'équitabilité des différents systèmes agroforestiers (de 0,52 à 0,66) suggèrent que la répartition des abondances relatives n'est pas équitable entre les systèmes de cultures. Sur l'ensemble des systèmes de culture, 04 espèces ont des occurrences plus élevées que les autres. Il s'agit des espèces *Pheidole sp.2*, *Odontomachus troglodytes*, *Paltothyreus tartsatus*, *Oecophylla longinoda*.

Tableau XXII : Richesse et efficacité de récolte des systèmes d'ombrage

	SSO	SI1	SI2	SO
Nombre d'échantillons	320	320	320	320
Richesse spécifique observée (Sobs)	28	31	50	21
Richesse spécifique attendue (Jack 1)	42,06	44,13	80,06	31,31
Taux de couverture de l'échantillonnage (%)	66,57	70,25	63,7	67,07
Nombre d'espèces uniques	3	4	12	2
Simpson (D)	0,74	0,8	0,84	0,65
Equitabilité (E)	0,59	0,66	0,66	0,52

SSO: système sans ombrage; SI1: système intermédiaire 1; SI2: système intermédiaire 2; SO: système ombragé

Tableau XXIII : Composition spécifique en fourmis des différents systèmes d'ombrage

Sous-familles	Tribus	Espèces	SSO	SI1	SI2	SO
Cerapachyinae						
	Cerapachyini	<i>Cerapachys</i> sp.	1	0	1	0
Dolichoderinae						
	Tapinomini	<i>Tapinoma lugubre</i>	0	0	1	0
		<i>Tapinoma luteum</i>	0	2	0	0
		<i>Technomyrmex</i> sp.	0	0	0	3
Dorylinae						
	Dorylini	<i>Dorylus nigricans</i>	0	0	1	0
Formicinae						
	Camponotini	<i>Camponotus maculatus</i>	5	7	1	0
		<i>Camponotus olivieri</i>	2	0	2	0
		<i>Camponotus</i> sp.1	0	0	0	1
		<i>Camponotus</i> sp.2	0	0	1	1
		<i>Camponotus vividus</i>	2	0	4	3
		<i>Polyrhachis militaris</i>	10	4	0	4
		<i>Polyrhachis</i> sp.1	0	1	1	0
		<i>Polyrhachis</i> sp.2	0	0	1	0
	Lasiini	<i>Paratrechina longicornis</i>	0	3	1	0
		<i>Paratrechina</i> sp.1	0	0	1	1
		<i>Nylanderia scintilla</i>	0	0	5	0

	<i>Nylanderia</i> sp.1	0	0	1	2
	<i>Nylanderia</i> sp.2	0	0	1	0
Oecophyllini	<i>Oecophylla longinoda</i>	154	107	137	145
Plagiolepidini	<i>Anoplolepis</i> sp.	15	5	0	0
	<i>Lepisiota megacephala</i>	0	3	2	0
	<i>Lepisiota</i> sp.	1	0	5	0
	<i>Lepisiota igregia</i>	0	1	1	0
	<i>Plagolepsis</i> sp.	1	1	12	0
Myrmicinae					
Crematogastrini	<i>Cardiocondyla</i> sp.	1	1	0	1
	<i>Crematogaster</i> sp.1	4	3	9	0
	<i>Crematogaster</i> sp.2	3	0	6	1
	<i>Crematogaster</i> sp.3	1	3	5	2
	<i>Crematogaster</i> sp.4	1	0	0	0
	<i>Crematogaster</i> sp.5	0	1	1	0
	<i>Crematogaster</i> sp.6	0	2	10	1
	<i>Crematogaster striatula</i>	0	2	5	0
	<i>Dicroaspis</i> sp.	0	0	2	0
Pheidolini	<i>Pheidole</i> sp.1	2	17	12	0
	<i>Pheidole</i> sp.2	11	15	34	4
	<i>Pheidole</i> sp.3	0	2	0	0
	<i>Pheidole</i> sp.4	4	8	11	2
	<i>Pheidole</i> sp.5	0	2	1	0
	<i>Pheidole</i> sp.6	0	4	7	0
	<i>Pheidole</i> sp.7	5	0	12	3
	<i>Pheidole</i> sp.8	1	0	1	0
	<i>Pheidole</i> sp.9	0	4	0	0
	<i>Pheidole</i> sp.10	0	1	1	0
	<i>Pheidole</i> sp.11	1	0	0	0
Solenopsidini	<i>Monomorium</i> sp.1	0	0	1	0
	<i>Monomorium</i> sp.2	0	0	2	0
	<i>Myrmicaria</i> sp.	1	0	1	0
Tetramoriini	<i>Tetramorium</i> sp.1	0	0	1	1

		<i>Tetramorium</i> sp.2	1	2	1	0
		<i>Tetramorium</i> sp.3	0	0	1	1
		<i>Tetramorium aculeatum</i>	0	0	1	0
Ponerinae						
	Ponerini	<i>Centromyrmex</i> sp.	1	2	1	0
		<i>Odontomachus troglodytes</i>	9	17	29	18
		<i>Bothroponera</i> sp.	4	0	0	0
		<i>Hypoponera</i> sp.	0	0	1	0
		<i>Loboponera</i> sp.	0	0	1	0
		<i>Pachycondyla tarsata</i>	0	0	1	5
		<i>Paltothyreus</i> sp.	27	1	0	9
		<i>Paltothyreus tarsatus</i>	63	52	62	66
		<i>Phrynoponera</i> sp.	0	1	1	0
		<i>Mesoponera</i> sp.	1	0	1	0
		<i>Anochetus</i> sp.	0	0	1	0
Pseudomyrmecinae						
	Pseudomyrmecini	<i>Tetraponera macquerysi</i>	0	1	0	0
			7	13	63	

SSO: système sans ombrage; SII: système intermédiaire 1; SI2: système intermédiaire 2; SO: système ombragé

3.2.2.3. Classifications des systèmes de culture en fonction de leur richesse spécifique

Pour montrer les différences entre les systèmes de culture, une analyse de classification hiérarchique a été effectuée (Figure 39). Les habitats ont été regroupés en fonction de la ressemblance de leur composition en fourmis. La comparaison au niveau des habitats montre une influence de ceux-ci sur la composition spécifique des fourmis. Trois groupes différents se distinguent. Le système sans ombrage et le système ombragé forment le premier groupe. Le système intermédiaire 1 constitue le second groupe. Le dernier groupe est représenté par le système intermédiaire 2. Les deux systèmes de culture formant le groupe I ont donc des compositions spécifiques semblables alors que les communautés de fourmis des deux systèmes intermédiaires semblent différer entre elles et diffèrent également de la composition spécifique des fourmis du groupe I.

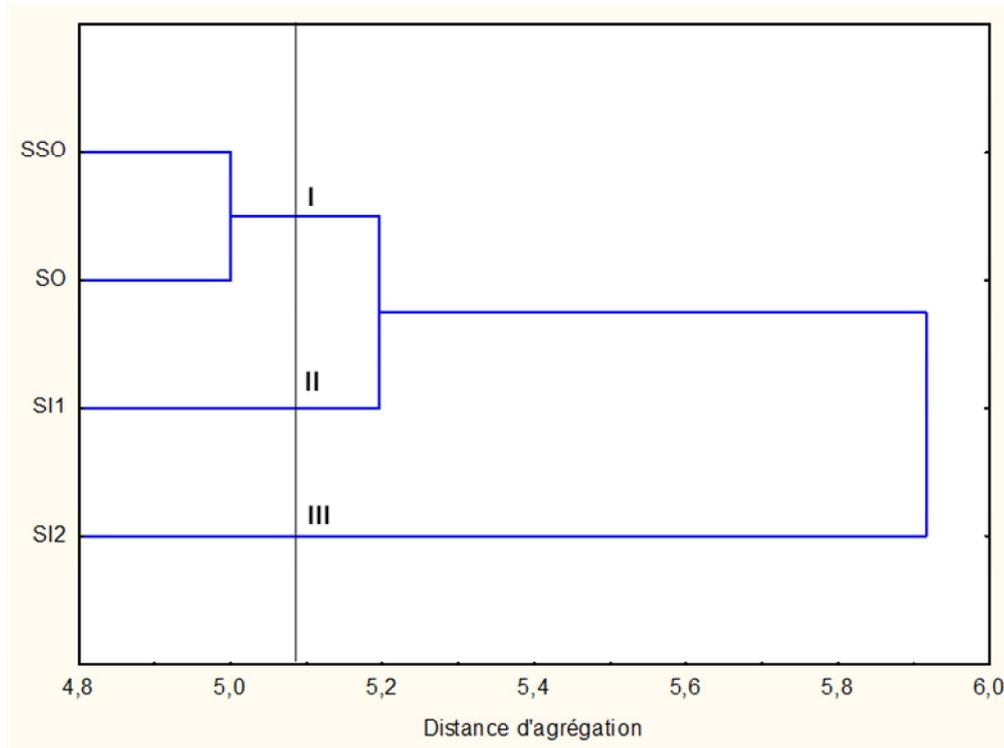


Figure 39 : Similitude des systèmes basée sur la richesse spécifique des fourmis

SSO: système sans ombrage; SI1: système intermédiaire 1; SI2 : système intermédiaire 2; SO: système ombragé

3.2.2.4. Abondances relatives des fourmis dans les habitats

Des différences au niveau de la structure des communautés de fourmis ont été observées en analysant l'abondance relative des sous-familles (Figure 40). Sur 07 sous-familles identifiées, trois sont plus abondantes dans les différents systèmes de culture. Une prépondérance des Formicinae est observée. Elle est suivie des Ponerinae et des Myrmicinae. Les quatre autres sous-familles (Dolichoderinae, Cerapachyinae, Dorylinae et Pseudomyrmecinae) sont peu représentées, dénotant d'une dominance des fourmis terricoles. Les Dolichoderinae étant des fourmis majoritairement arboricoles alors que les Formicinae sont majoritairement terricoles. L'abondance relative des Myrmicinae varie significativement suivant le système d'ombrage, contrairement aux autres sous-familles (Tableau XXIV). Elle est très abondante dans le système intermédiaire 2, relativement abondante dans le système intermédiaire 1, mais très faiblement rencontrées dans les parcelles du système ombragé.

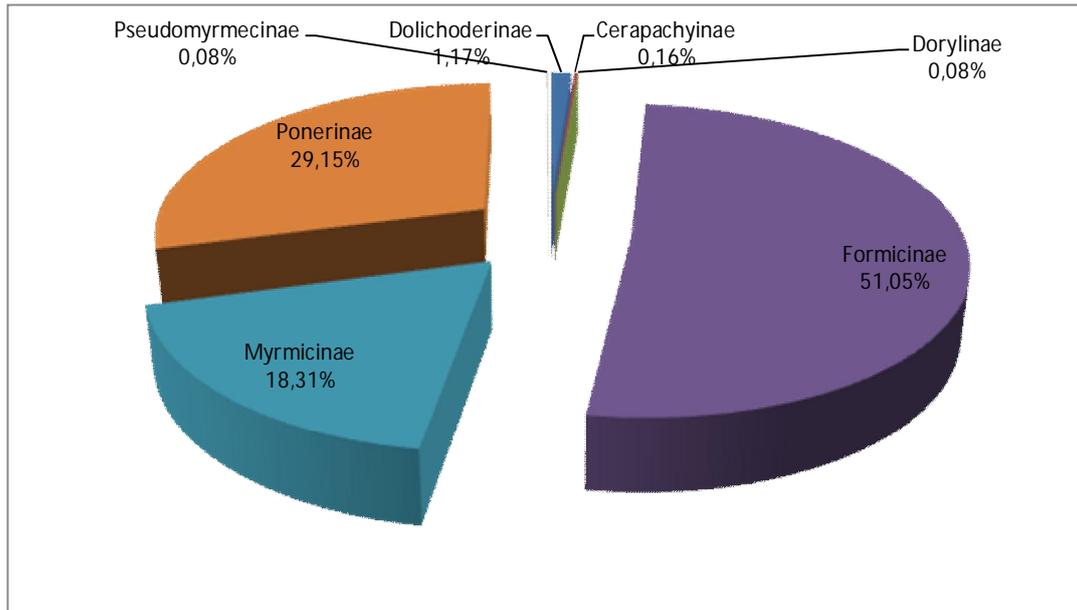


Figure 40 : Proportion des sous-familles recensées dans les quatre systèmes agroforestiers

Tableau XXIV: Comparaison de l'abondance relative (occurrences) des sous familles de fourmis suivant le système d'ombrage

Sous familles	SSO	SI1	SI2	SO	F	P
Cerapachyinae	1	0	1	0	-	NS
Dolichoderinae	1	4	5	5	0,796	0,508
Dorylinae	0	0	1	0	-	NS
Formicinae	190	132	176	157	0,034	0,991
Myrmicinae	35	65	121	14	4,366	0,006
Ponerinae	105	73	98	98	0,051	0,984
Pseudomyrmecinae	0	1	0	0	-	NS

La sous-famille dont l'abondance relative varie significativement suivant le système d'ombrage ($p < 0,05$) est en gras. SSO : système sans ombrage ; SI1 : système intermédiaire 1; SI2: système intermédiaire 2; SO: système ombragé; NS: Non significatif.

3.2.2.5. Profil de distribution des fourmis

L'analyse de la distribution spécifique des fourmis des différents systèmes d'ombrage a été effectuée à partir de la carte auto-organisatrice de Kohonen (SOM) sur la base des occurrences. En tenant compte des erreurs de quantification et de topographie (Tableau XXV), (la matrice retenue est en gras), une carte de Kohonen composée de 54 cellules (9 lignes x 6 colonnes) a été retenue (Figure 41A). La classification hiérarchique (Figure 41B) réalisée avec le logiciel SOM a permis de regrouper les 54 cellules de la carte de Kohonen en quatre groupes distincts (I, II, III et IV).

Tableau XXV : Estimation des erreurs de quantification et de topographie des différentes tailles de la carte de Kohonen.

Matrice possible	Erreur de quantification	Erreur topographique
8x7	1,027	0,016
9x6	1,014	0,000
11x5	1,007	0,031

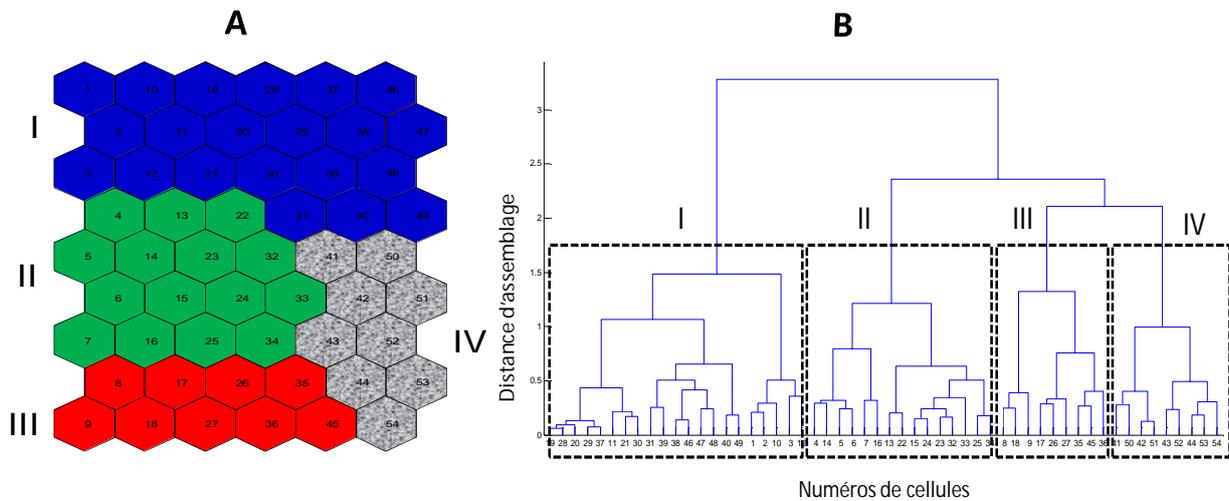


Figure 41 : Carte auto-organisatrice de Kohonen (SOM) composée de 54 cellules (A) et dendrogramme de classification hiérarchique des cellules de la carte de Kohonen(B) sur la base des abondances relatives et d’occurrences par espèces de fourmis

L’analyse de classification hiérarchique définit les différents groupements de chaque unité à partir des abondances relatives des fourmis. Le groupe I renferme les échantillons des quadrats des quatre systèmes d’ombrage avec une dominance des quadrats des systèmes sans ombrage et intermédiaire 1 (Figure 42). Les échantillons du groupe II sont issus en majorité du système intermédiaire 1 et du système ombragé. Le groupe III rassemble majoritairement les échantillons des quadrats issus des deux systèmes intermédiaires. Quant au groupe IV, il renferme des échantillons majoritairement issus des systèmes sans ombrage, intermédiaire 1 et ombragé.

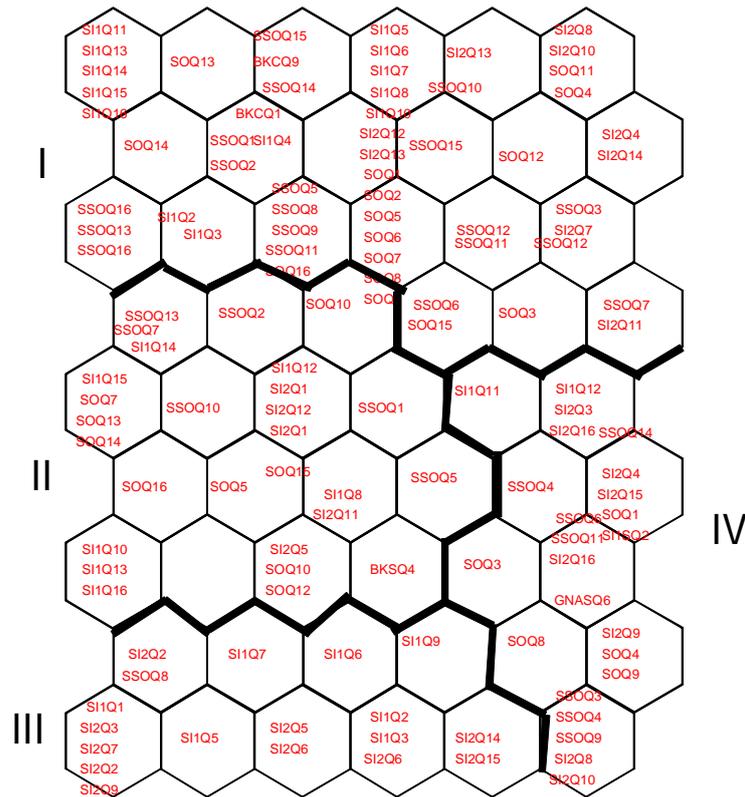


Figure 42 : Distribution en quatre groupes (I, II, III et IV) des échantillons dans la SOM à partir des données des abondances relatives et d’occurrences des espèces de fourmis.

SSO: système sans ombrage; **SI1:** système intermédiaire 1; **SI2:** système intermédiaire 2; **SO:** système ombragé. Les lettres suivies des numéros correspondent aux échantillons issus des différents systèmes de culture.

Le profil de distribution des espèces de fourmis réalisé par la SOM, présente la contribution de chaque taxon dans les différents groupes (Figure 43). L’analyse de la distribution des espèces de fourmis dans les cellules de la SOM montre les variations de la richesse spécifique dans les groupes formés (Figure 44). Le groupe III avec 36 espèces est relativement le plus riche. Il est suivi par le groupe I (23 espèces) et le groupe IV (17 espèces). Le groupe II est le moins riche avec 11 espèces.

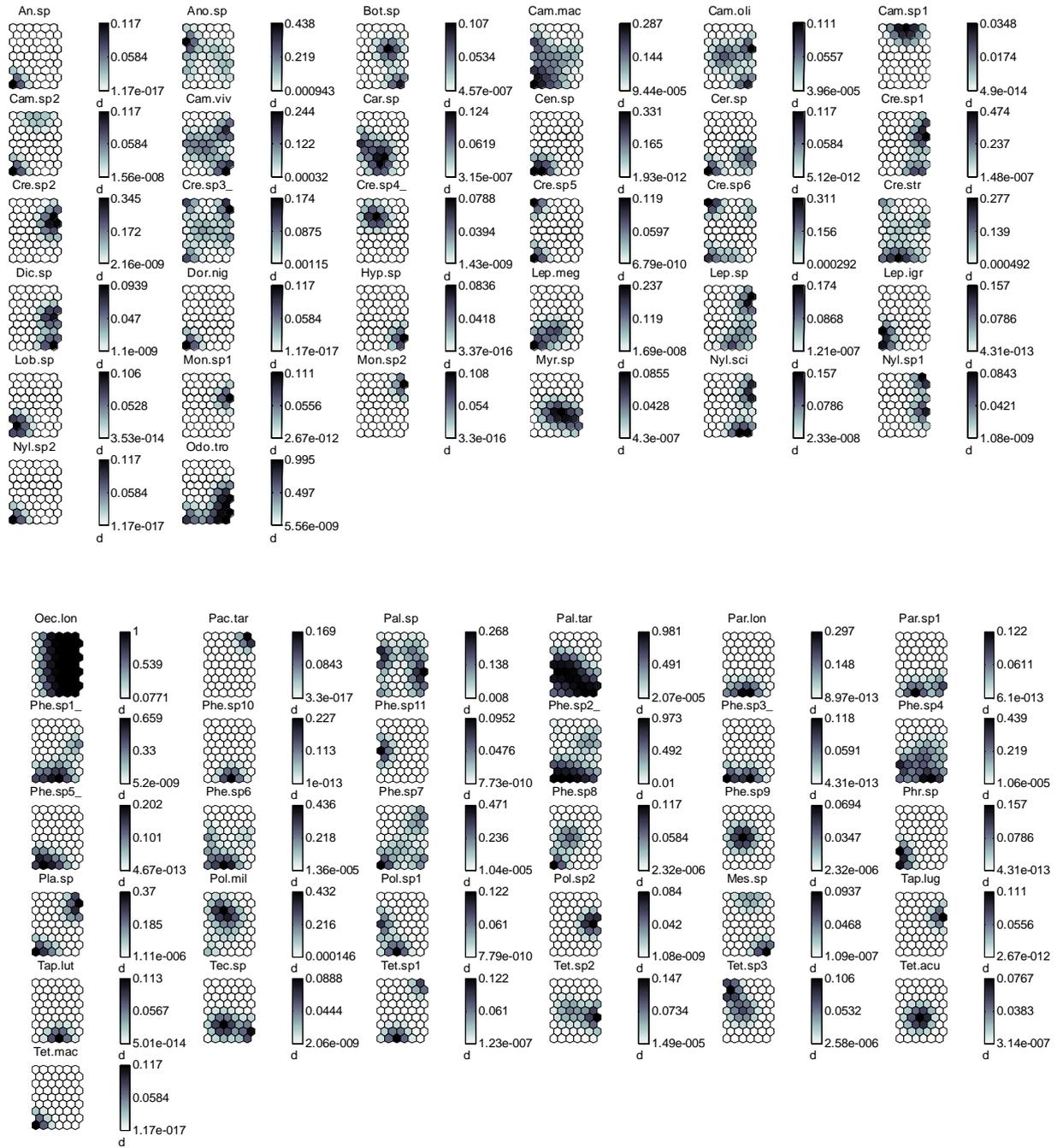


Figure 43 : Profil de distribution des espèces de fourmis sur la carte de Kohonen à partir des données d'abondances relatives et d'occurrences.

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

An.sp: *Anochetus* sp; **Ano.sp:** *Anoplolepis* sp; **Bot.sp:** *Bothroponera* sp; **Cam.mac:** *Camponotus maculatus*; **Cam.oli:** *Camponotus oliveri*; **Cam.sp1:** *Camponotus* sp.1; **Cam.sp2:** *Camponotus* sp.2; **Cam.viv :** *Camponotus vividus*; **Car.sp:** *Cardiocondyla* sp; **Cen.sp:** *Centromyrmex* sp ; **Cer.sp:** *Cerapachys* sp ; **Cre.sp1 :** *Crematogaster* sp.1; **Cre.sp2:** *Crematogaster* sp.2 ; **Cre.sp3:** *Crematogaster* sp.3; **Cre.sp4:** *Crematogaster* sp.4; **Cre.sp5:** *Crematogaster* sp.5; **Cre.sp6:** *Crematogaster* sp.6; **Cre.str:** *Crematogaster striatula*; **Dic.sp:** *Dicroaspis* sp; **Dor.nig:** *Dorylus nigricans*; **Hyp.sp:** *Hypoponera* sp; **Lep.meg:** *Lepisiota megacephala*; **Lep.sp:** *Lepisiota* sp; **Lep.igr:** *Lepisiota igregia*; **Lob.sp:** *Loboponera* sp; **Mon.sp1:** *Monomonum* sp.1; **Mon.sp2 :** *Monomonum* sp.2; **Myr.sp:** *Myrmecaria* sp; **Nyl.Sci:** *Nylanderia scintilla*; **Nyl.Sp1:** *Nylanderia* sp.1; **Nyl.Sp2:** *Nylanderia* sp.2; **Odo.tro:** *Odontomachus troglodytes*; **Oec.lon:** *Oecophylla longinoda*; **Pac.tar:** *Pachycondyla*

tarsata; **Pal.sp**: *Paltothyreus* sp; **Pal.tar**: *Paltothyreus tartsatus*; **Par.lon**: *Paratrechyna longicornis*; **Par.sp1**: *Paratrechyna* sp.1; **Phe.sp1**: *Pheidole* sp.1; **Phe.sp10**: *Pheidole* sp.10; **Phe.sp11**: *Pheidole* sp.11; **Phe.sp2**: *Pheidole* sp.2; **Phe.sp3**: *Pheidole* sp.3; **Phe.sp4**: *Pheidole* sp.4; **Phe.sp5**: *Pheidole* sp.5; **Phe.sp6**: *Pheidole* sp.6; **Phe.sp7**: *Pheidole* sp.7; **Phe.sp8**: *Pheidole* sp.8; **Phe.sp9**: *Pheidole* sp.9; **Phr.sp**: *Phrynoponera* sp; **Pla.sp**: *Plagolepsis* sp; **Pol.mil**: *Polyrachis militaris*; **Pol.sp1**: *Polyrachis* sp.1; **Pol.sp2**: *Polyrachis* sp.2 ; **Pse.sp**: *Pseudoponera* sp; **Tap.lug**: *Tapinoma lugubre*; **Tap.lut**: *Tapinoma luteum*; **Tec.sp**: *Technomyrmex* sp; **Tet.sp1**: *Tetramorium* sp.1; **Tet.sp2**: *Tetramorium* sp.2; **Tet.sp3**: *Tetramorium* sp.3; **Tet.acu**: *Tetramorium aculeatum*; **Tet.mac**: *Tetraoponera macquersyi*.

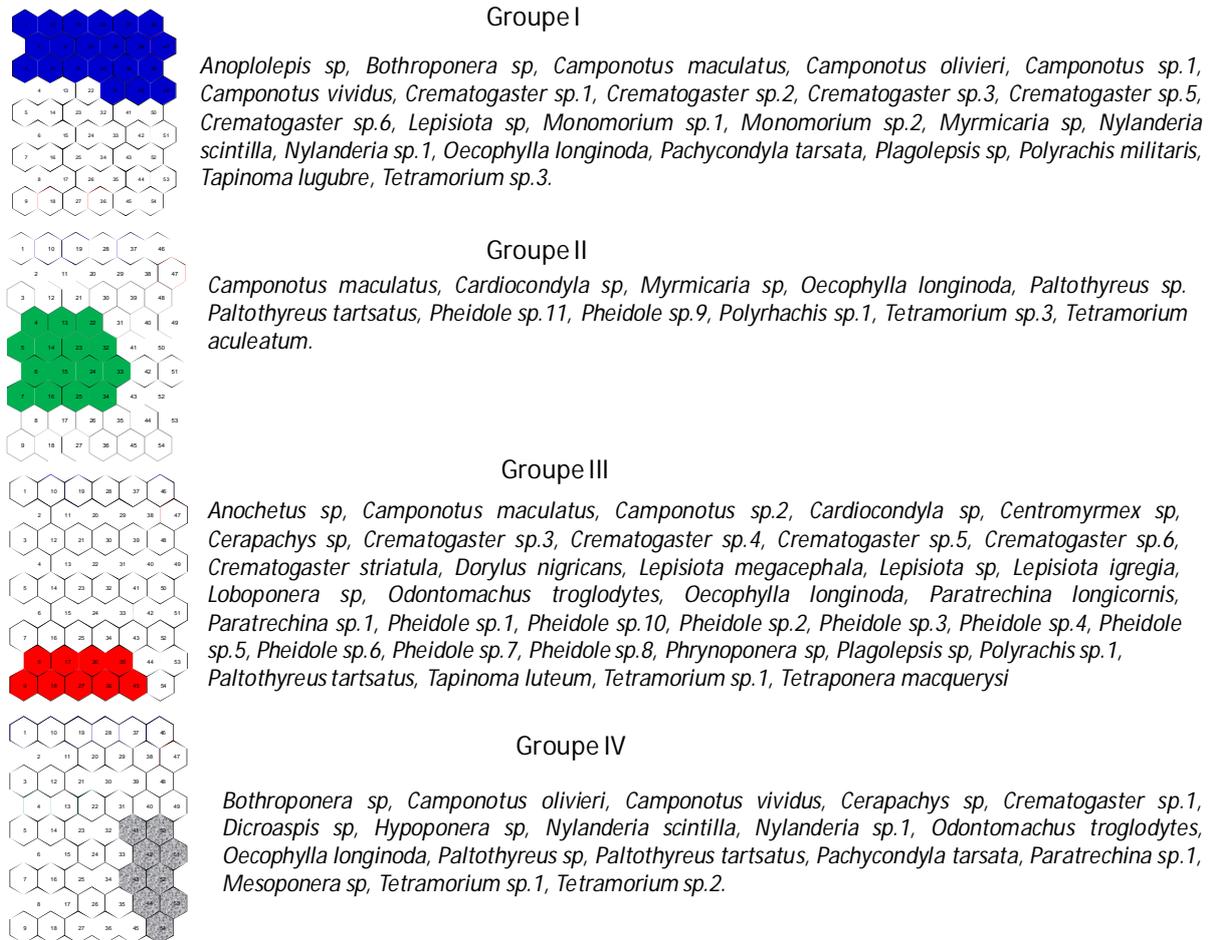


Figure 44: Distribution des espèces de fourmis des différents systèmes d'ombrage dans chaque groupe défini par la SOM

3.2.3. Relations entre la faune et la flore des différents SAFc

3.2.3.1. Relations entre l'abondance des fourmis *Oecophylla longinoda* et les cacaoyers attaqués

Dans l'ensemble, l'abondance de *O. longinoda* n'est pas significativement corrélée à l'abondance des cacaoyers attaqués (Figure 54). Une différence significative est observée au niveau des cacaoyers attaqués (Anova, $F = 27,0177$; $p < 0,00001$). En effet, pendant qu'un nombre important de dégâts est observé sur les cacaoyers du système sans ombrage et du système ombragé, le nombre d'occurrences de *O. longinoda* est resté statistiquement le même dans les différents systèmes de culture. Aucune différence significative n'est observée entre les abondances d'oecophylles dans les différents systèmes de culture ($p > 0,05$). Le nombre d'occurrences de *O. longinoda* est plus élevé dans le système sans ombrage sans toute fois qu'il ait une différence significative entre les abondances des différents systèmes de culture, alors qu'il existe une différence entre l'abondance des cacaoyers attaqués.

3.2.3.2. Relation entre abondance relative des fourmis et des termites

L'observation de l'évolution de l'abondance relative de chaque groupe d'insecte en fonction des différents systèmes agroforestiers fait apparaître une distribution des termites évoluant dans le même sens que celle des fourmis sauf dans le système intermédiaire 2 (Figure 46). Dans ce système, les occurrences des fourmis sont plus élevées que celles des termites. De plus, l'abondance relative des fourmis est plus élevée dans ce système comparativement à celle des fourmis dans les autres systèmes agroforestiers. C'est également dans ce système intermédiaire 2 que la plus faible attaque de termites est observée.

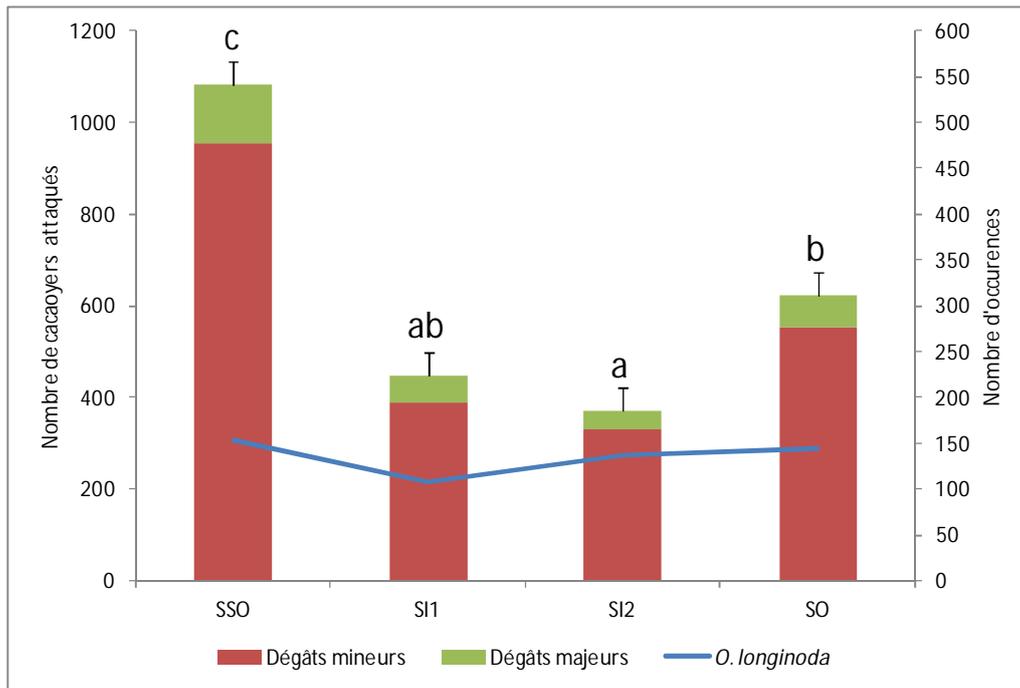


Figure 45 : Variation des dégâts de termites en fonction des abondances de *O. longinoda*

SSO: système sans ombrage; **SI1:** système intermédiaire 1; **SI2:** système intermédiaire 2; **SO:** système ombragé. Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test de Newman-keuls)

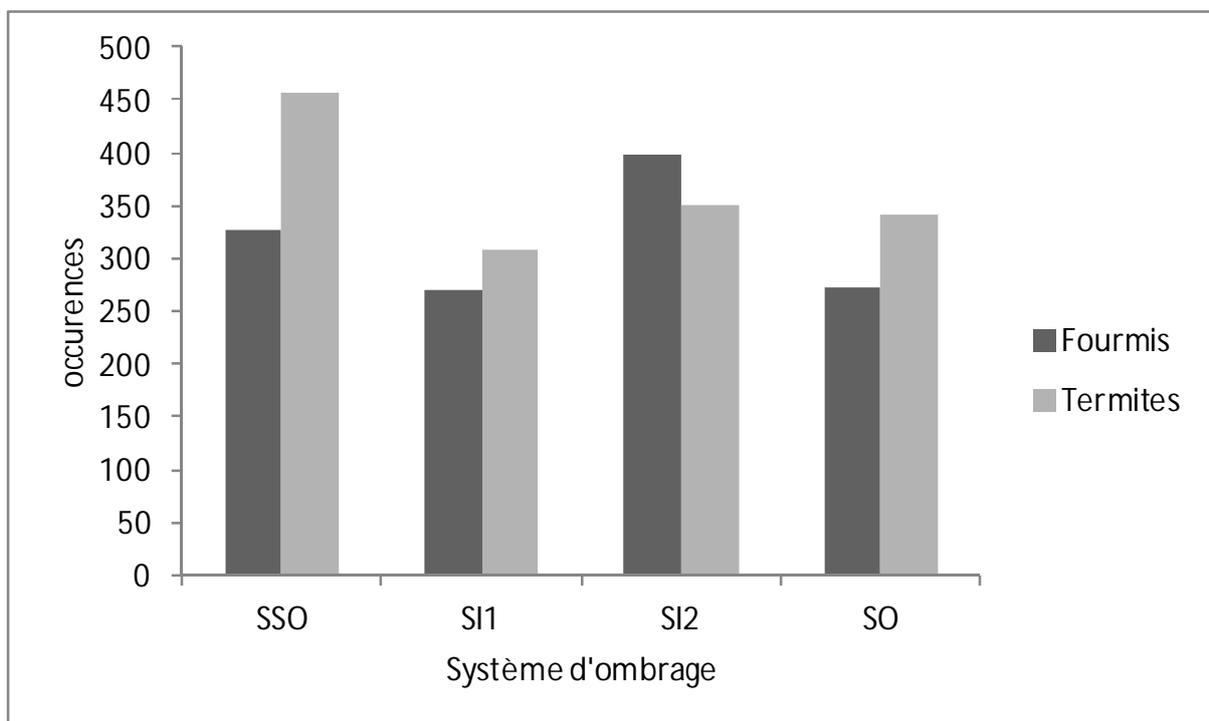


Figure 46 : Evolution des abondances entre fourmis et termites dans les différents systèmes de culture.

SSO: système sans ombrage; **SI1:** système intermédiaire 1; **SI2:** système intermédiaire 2; **SO:** système ombragé

3.2.3.3. Influence des paramètres du milieu sur l'installation des termites

Une analyse canonique des correspondances (ACC) a été réalisée entre les paramètres environnementaux et l'abondance relative des espèces de termites (8 paramètres x 29 espèces). Le couplage des données termitiques et environnementales montre que la distribution des espèces semble être influencée par des paramètres environnementaux à différents degrés (Tableau XXVI). Les deux premiers axes (F1 et F2) expliquent 52,7% de la variabilité totale (Figure 47). L'axe factoriel 1 sépare nettement le limon et l'argile aux autres paramètres environnementaux. Parcontre l'axe 2 différencie l'argile et le sable aux quantités de litière, de détritux, d'herbe et de limon. Dans la partie supérieure de l'axe 2, une forte liaison entre le limon et *M. parvus* ; la quantité de litière et les espèces *O. sp.2*, *P. urgens* et *A. crucifer* est observée. Il existe également une forte corrélation entre la quantité d'herbe et *P. militaris*, *A. cavithorax*, *M. bellicosus* et *P. orthocephs*, et aussi entre la quantité de détritux et l'espèce *A. guineensis*. En revanche dans la moitié inférieure, *M. subhyalinus* et *M. fuscotibialis*, sont positivement corrélées à l'argile. Dans cette même partie, *M. thoracalis*, *M. edentatus*, *C. intermedius* et *M. subhyalinus* sont fortement associées au sable.

Tableau XXVI : Relations entre espèces de termites et variables environnementales

Axes de l'ACC	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Inertie totale
Valeurs propres	0,224	0,133	0,112	0,091	3,139
Corrélations espèces / paramètres environnementaux	0,729	0,727	0,674	0,683	
Valeurs cumulatives de la variance (%)	7,1	11,4	14,9	17,8	
	33,1	52,7	69,3	82,7	

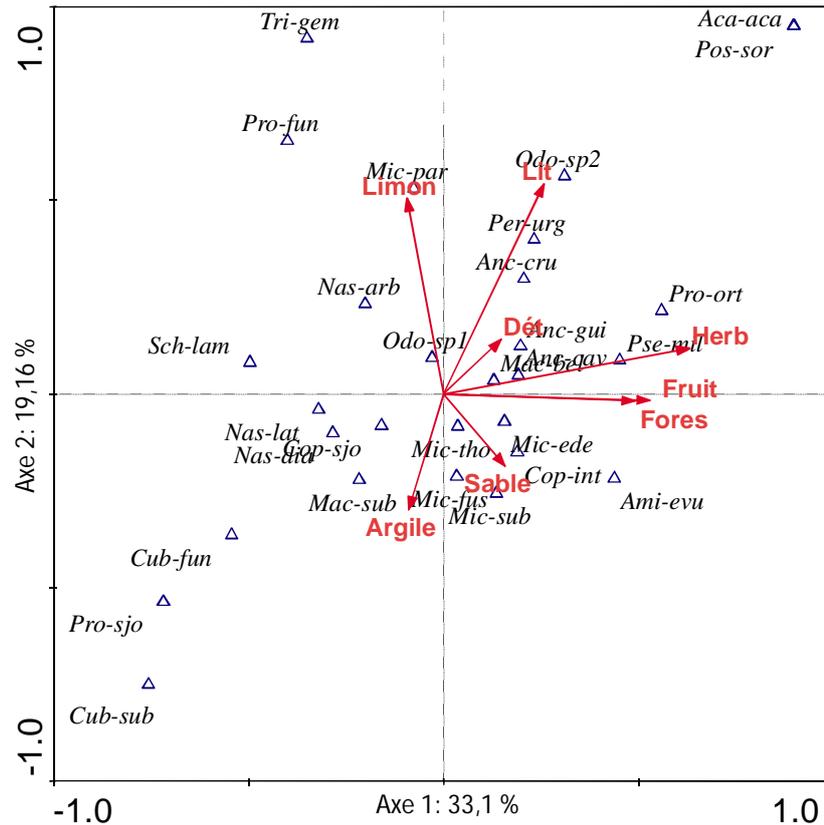


Figure 47: Analyse canonique des correspondances (ACC) des espèces de termites et des variables environnementales

Lit: Quantité de litière; **Dét:** Quantité de débris; **Herb:** Quantité d'herbe; **Forest:** Nombre d'arbres forestiers; **Fruit:** Nombre d'arbres fruitiers; **Aca-aca:** *Acanthotermes acanthothorax*; **Ami-evu:** *Amitermes evuncifer*; **Anc-cav:** *Ancistrotermes cavithorax*; **Anc-cru:** *Ancistrotermes crucifer*; **Anc-gui:** *Ancistrotermes guineensis*; **Cop-int:** *Coptotermes intermedius*; **Cop-sjo:** *coptotermes sjostedti*; **Cub-fun:** *cupitermes fungifaber*; **Cub-sub:** *Cubitermes subcrenulatus*; **Mac-bel:** *Macrotermes bellicosus*; **Mac-sub:** *Macrotermes subhyalinus*; **Mic-edu:** *Microcerotermes edentatus*; **Mic-fus:** *Microcerotermes fuscotibialis*; **Mic-par:** *Microcerotermes parvus*; **Mic-sub:** *Microtermes subhyalinus*; **Mic-tho:** *Microtermes thoracalis*; **Nas-arb:** *Nasutitermes arborum*; **Nas-dia:** *Nasutitermes diabolus*; **Nas-lat:** *Nasutitermes latifrons*; **Odo-sp1:** *Odontotermes sp.1*; **Odo-sp.2:** *Odontotermes sp.2*; **Per-urg:** *Pericapritermes Urgens*; **Pos-sor:** *Postelectrotermes sordwane*; **Pro-fun:** *Procubitermes fungifaber*; **Pro-sjo:** *Procubitermes sjostedti*; **Pro-ort:** *Promirotermes orthocephs*; **Pse-mil:** *Pseudacanthotermes militaris*; **Sch-lam:** *Schedorhinotermes lamanianus*; **Tri-gem:** *Trinervitermes geminatus*.

3.2.3.4. Influence des paramètres du milieu sur l'installation des fourmis

L'analyse de redondance (RDA) a été réalisée à partir de l'abondance des espèces de fourmis et des variables environnementales en vue de déterminer les paramètres du milieu influençant la distribution des fourmis. Le couplage des données myrmécologiques et environnementales montre que la distribution des espèces semble être influencée par les paramètres environnementaux à des degrés divers (Tableau XXVII). Dans la distribution des espèces suivant les caractéristiques des différents biotopes, les axes 1 et 2 expriment 75,9 % de la variance totale (Figure 48). Le taux de couverture des herbacées, de limon et le nombre

d'arbres forestiers sont positivement corrélés au premier axe. A l'opposé, la quantité de litière, de détrit, les pourcentages de sable, d'argile et le nombre d'arbres fruitiers sont négativement corrélée à ce même axe. Dans la partie positive de l'axe 2, une forte corrélation entre les espèces *Pheidole* sp.2, *Plagolepsis* sp, *Lepisiota megacephala* et les arbres fruitiers est observée. De même, la quantité de détrit et les arbres forestiers sont corrélés respectivement aux espèces *Phrynonopona* sp, *Hypoconera* sp, *Odontomachus troglodytes* et aux espèces *Camponotus vividus*, *Nylanderia scintilla*, *Pheidole* sp.4. Par contre dans la partie négative de cet axe, ce sont les espèces *Anoplolepis* sp, *Camponotus maculatus*, *Cerapachys* sp, *Pachycondyla tarsata* et *Pheidole* sp.8 qui sont corrélées au sable.

Tableau XXVII: Relations entre espèces de fourmis et variables environnementales

Axes de la RDA	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Inertie totale
Valeurs propres	0,066	0,022	0,010	0,010	1,000
Corrélations espèces / paramètres environnementaux	0,378	0,490	0,544	0,336	
Valeurs cumulatives de la variance	6,6	8,8	9,8	10,8	
	56,8	75,9	84,8	93,2	

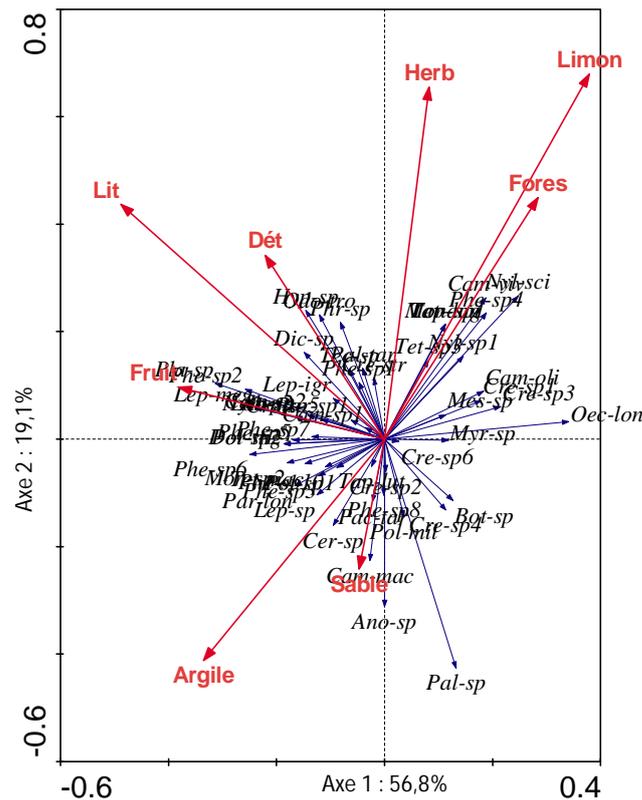


Figure 48: Diagramme d'ordination (RDA) des fourmis et des variables environnementales

Lit: Quantité de litière; **Dét:** Quantité de débris; **Herb:** Quantité d'herbe; **Forest:** Nombre d'arbres forestiers; **Fruit:** Nombre d'arbres fruitiers; **An.sp:** *Anochetus* sp; **Ano.sp:** *Anoplolepis* sp; **Bot.sp:** *Bothroponera* sp; **Cam.mac:** *Camponotus maculatus*; **Cam.oli:** *Camponotus olivieri*; **Cam.sp1:** *Camponotus* sp.1; **Cam.sp2:** *Camponotus* sp.2; **Cam.viv :** *Camponotus vividus*; **Car.sp:** *Cardiocondyla* sp; **Cen.sp:** *Centromyrmex* sp ; **Cer.sp:** *Cerapachys* sp ; **Cre.sp1 :** *Crematogaster* sp.1; **Cre.sp2:** *Crematogaster* sp.2 ; **Cre.sp3:** *Crematogaster* sp.3; **Cre.sp4:** *Crematogaster* sp.4; **Cre.sp5:** *Crematogaster* sp.5; **Cre.sp6 :** *Crematogaster* sp.6; **Cre.str:** *Crematogaster striatula*; **Dic.sp:** *Dicroaspis* sp; **Dor.nig:** *Dorylus nigricans*; **Hyp.sp:** *Hypoponera* sp; **Lep.meg:** *Lepisiota megacephala*; **Lep.sp:** *Lepisiota* sp; **Lep.igr:** *Lepisiota igregia*; **Lob.sp:** *Loboponera* sp; **Mon.sp1:** *Monomorium* sp.1; **Mon.sp2 :** *Monomorium* sp.2; **Myr.sp:** *Myrmecaria* sp; **Nyl.Sci:** *Nylanderia scintilla*; **Nyl.Sp1:** *Nylanderia* sp.1; **Nyl.Sp2:** *Nylanderia* sp.2; **Odo.tro:** *Odontomachus troglodytes*; **Oec.lon:** *Oecophylla longinoda*; **Pac.tar:** *Pachycondyla tarsata*; **Pal.sp:** *Paltothyreus* sp; **Pal.tar:** *Paltothyreus tarsatus*; **Par.lon:** *Paratrechina longicornis*; **Par.sp1:** *Paratrechina* sp.1; **Phe.sp1:** *Pheidole* sp.1; **Phe.sp10:** *Pheidole* sp.10; **Phe.sp11:** *Pheidole* sp.11; **Phe.sp2:** *Pheidole* sp.2; **Phe.sp3:** *Pheidole* sp.3; **Phe.sp4:** *Pheidole* sp.4; **Phe.sp5:** *Pheidole* sp.5; **Phe.sp6:** *Pheidole* sp.6; **Phe.sp7:** *Pheidole* sp.7; **Phe.sp8:** *Pheidole* sp.8; **Phe.sp9:** *Pheidole* sp.9; **Phr.sp:** *Phrynoponera* sp; **Pla.sp:** *Plagolepsis* sp; **Pol.mil:** *Polyrachis militaris*; **Pol.sp1:** *Polyrachis* sp.1; **Pol.sp2:** *Polyrachis* sp.2 ; **Pse.sp:** *Pseudoponera* sp; **Tap.lug:** *Tapinoma lugubre*; **Tap.lut:** *Tapinoma luteum*; **Tec.sp:** *Technomyrmex* sp; **Tet.sp1:** *Tetramorium* sp.1; **Tet.sp2:** *Tetramorium* sp.2; **Tet.sp3:** *Tetramorium* sp.3; **Tet.acu:** *Tetramorium aculeatum*; **Tet.mac:** *Tetraponera macquersyi*.

3.2.3.5. Relation entre le niveau d'ombrage et les dégâts de termites

L'analyse factorielle des correspondances réalisée à partir de l'abondance des attaques de termites et du type de dégât montre les relations entre le niveau d'ombrage et le type de dégâts occasionnés par les termites (Figure 49). Les axes F1 et F2 extraient 100% de l'inertie totale, exprimant la totalité de l'information sur la distribution des variables étudiées. La valeur propre de l'axe 1 est très élevée (99,8%) indiquant une bonne diagonalisation des données et

une relation significative entre les variables étudiées. L'axe 1 oppose nettement les deux systèmes intermédiaires au système ombragé et plein soleil. Il oppose également, du même côté les cacaoyers sains aux deux types de dégâts (dégâts mineurs et dégâts majeurs). L'axe 2 met en valeur l'opposition entre le premier et le second système intermédiaire. Il oppose également les deux types de dégâts. La classification issue de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) permet d'avoir deux grands groupes. Le premier groupe révèle une forte corrélation entre les systèmes intermédiaires et les cacaoyers sains. Dans le second groupe la corrélation est élevée entre le système plein soleil ayant moins d'arbres d'ombrages et les deux types de dégâts recensés sur les cacaoyers. Le niveau d'ombrage semble avoir un effet sur les types de dégâts occasionnés par les termites et sur le nombre de cacaoyers ayant subi les dégâts de termites.

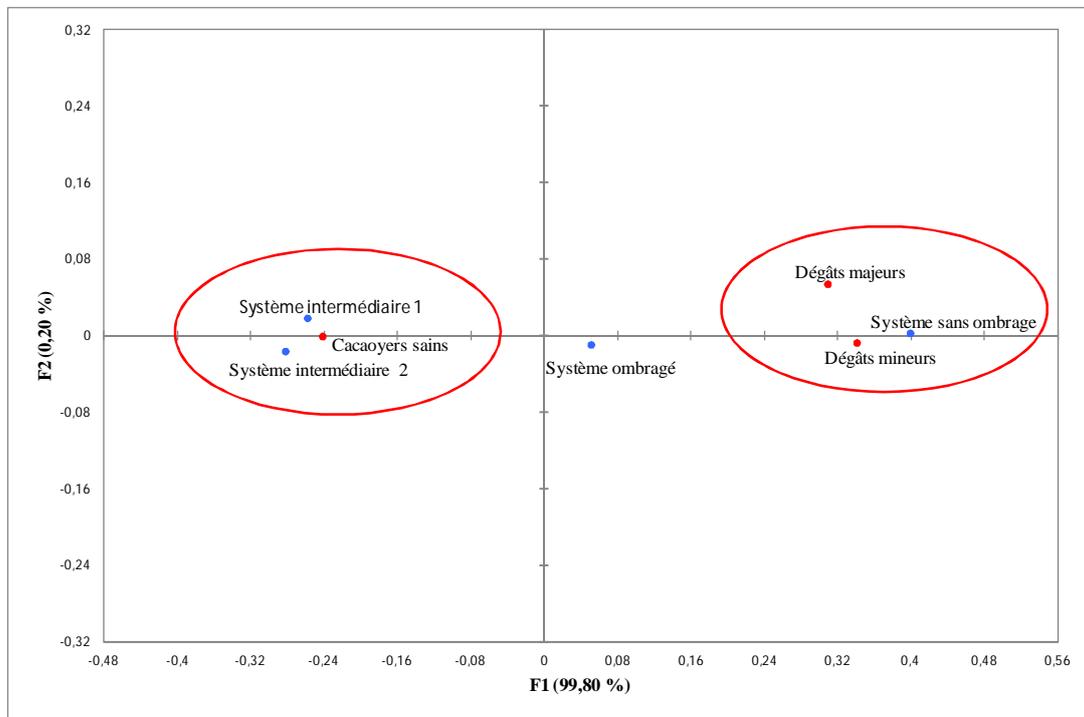


Figure 49 : Carte factorielle montrant la relation entre le niveau d'ombrage et les types de dégâts

3.3. EFFET DE LA FERTILISATION A LA FIENTE DE POULE SUR LA DIVERSITE BIOLOGIQUE DES TERMITES DANS DIFFERENTS SYSTEMES DE CULTURE DU CACAO

3.3.1. Termites récoltés dans les différents systèmes agroforestiers

L'inventaire de la faune termitique des différentes parcelles de cacao échantillonnées a permis de recenser 23 espèces de termites réparties en 14 genres, 7 sous-familles et 3 familles (Tableau XXVIII). Pris dans l'ensemble, 6 espèces sont communes à tous les milieux. Il s'agit d'*Ancistrotermes cavithorax*, *Macrotermes bellicosus*, *Microtermes thoracalis*, *Nasutitermes arborum*, *Nasutitermes diabolus*, *Nasutitermes latifrons*. Quatre espèces (*Ancistrotermes guineensis*, *Microtermes subhyalinus*, *Coptotermes intermedius* et *Coptotermes sjostedti*) présentes avant la fertilisation sont absentes après fertilisation. Parcontre, après fertilisation 5 nouvelles espèces (*Acanthotermes acanthothorax*, *Trinervitermes geminatus*, *Trinervitermes oeconomus*, *Procubitermes fungifaber* et *Neotermes aburiensis*) sont observées. Les espèces récoltées dans les différents milieux appartiennent aux quatre groupes trophiques. Les champignonnistes et les xylophages sont les plus diversifiés avec 11 et 9 espèces. Les fourrageurs sont représentés par 2 espèces et les humivores par une espèce. Les champignonnistes et les xylophages sont représentés chacun par six (6) genres tandis qu'un seul genre représente les fourragères et les humivores. La richesse spécifique de l'ensemble des parcelles avant la fertilisation est presque identique à celle de l'ensemble des parcelles fertilisées. Elle est de 18 espèces avant la fertilisation (T_0) et de 19 espèces après la fertilisation (T_1).

Tableau XXVIII : Liste des espèces de termites récoltés dans les cacaoyères.

Familles	Sous-familles	Espèces	SSO	SI1	SI2	SO	T0	T1	GT		
Termitidae	Macrotermitinae	<i>Acanthotermes acanthothorax</i>				*		*	C		
		<i>Ancistrotermes cavithorax</i>	*	*	*	*	*	*	C		
		<i>Ancistrotermes crucifer</i>		*	*	*	*	*	C		
		<i>Ancistrotermes guineensis</i>		*	*		*		C		
		<i>Macrotermes bellicosus</i>	*	*	*	*	*	*	C		
		<i>Macrotermes subhyalinus</i>	*			*	*	*	C		
		<i>Microtermes</i> sp.1				*	*	*	C		
		<i>Microtermes subhyalinus</i>		*	*		*		C		
		<i>Microtermes thoracalis</i>	*	*	*	*	*	*	C		
		<i>Odontotermes</i> sp.1				*	*	*	C		
		<i>Pseudacanthotermes militaris</i>					*	*	*	C	
		Termitinae	<i>Amitermes evuncifer</i>				*	*	*	*	X
			<i>Microcerotermes fuscotibialis</i>		*	*	*	*	*	*	X
	Nasutitermitinae	<i>Nasutitermes arborum</i>	*	*	*	*	*	*	*	X	
		<i>Nasutitermes diabolus</i>	*	*	*	*	*	*	*	X	
		<i>Nasutitermes latifrons</i>	*	*	*	*	*	*	*	X	
		<i>Trinervitermes geminatus</i>				*			*	F	
		<i>Trinervitermes oecconomus</i>				*			*	F	
	Cubitermitinae	<i>Procubitermes fungifaber</i>					*		*	H	
		<i>Coptotermes intermedius</i>				*		*		X	
	Rhinotermitidae	Coptotermitinae	<i>Coptotermes sjostedti</i>	*				*		X	
			<i>Schedorhinotermes laminanus</i>		*	*	*	*	*	X	
	Kalotermitidae	Kalotermitinae	<i>Neotermes aburiensis</i>	*					*	X	
3	7	23	9	11	17	16	18	19			

* : présence de l'espèce dans le milieu

T₀ : Avant fertilisation; T₁: Après fertilisation; GT: groupe trophique; SSO: système sans ombrage; SI1: système intermédiaire 1; SI2: système intermédiaire 2; SO: système ombragé; C: champignonnistes; F: fourrageurs; H: humivores et X: xylophages

3.3.2. Densité des termites et abondances des groupes trophiques

La comparaison deux à deux des densités moyennes des termites dans les différents systèmes de culture avant puis après la fertilisation montre des densités significativement plus petites après la fertilisation sauf dans le système ombragé où la densité n'est pas significativement différente (Test de Mann-Whitney, $p > 0,05$) (Figure 50). La fertilisation a eu un effet sur la

densité des termites dans le système sans ombrage et dans les systèmes d'ombrage intermédiaires.

L'analyse de l'abondance relative des groupes trophiques de termites montre que les champignonnistes et les xylophages sont dominants (Figure 51). Avant la fertilisation, les différents systèmes de culture regorgeaient uniquement des termites champignonnistes et xylophages avec des proportions respectives de 44,61% et 55,39 %. Après la fertilisation, une légère diminution des champignonnistes (41,02%) et une légère augmentation des xylophages (56,78%) sont observées. L'apparition des fourrageurs (1,83%) et des humivores (0,37%) sont également observées. Pris dans l'ensemble, la fertilisation n'a aucun effet sur la diversité des groupes trophiques ($p = 0,44$, Test de Mann-Whitney).

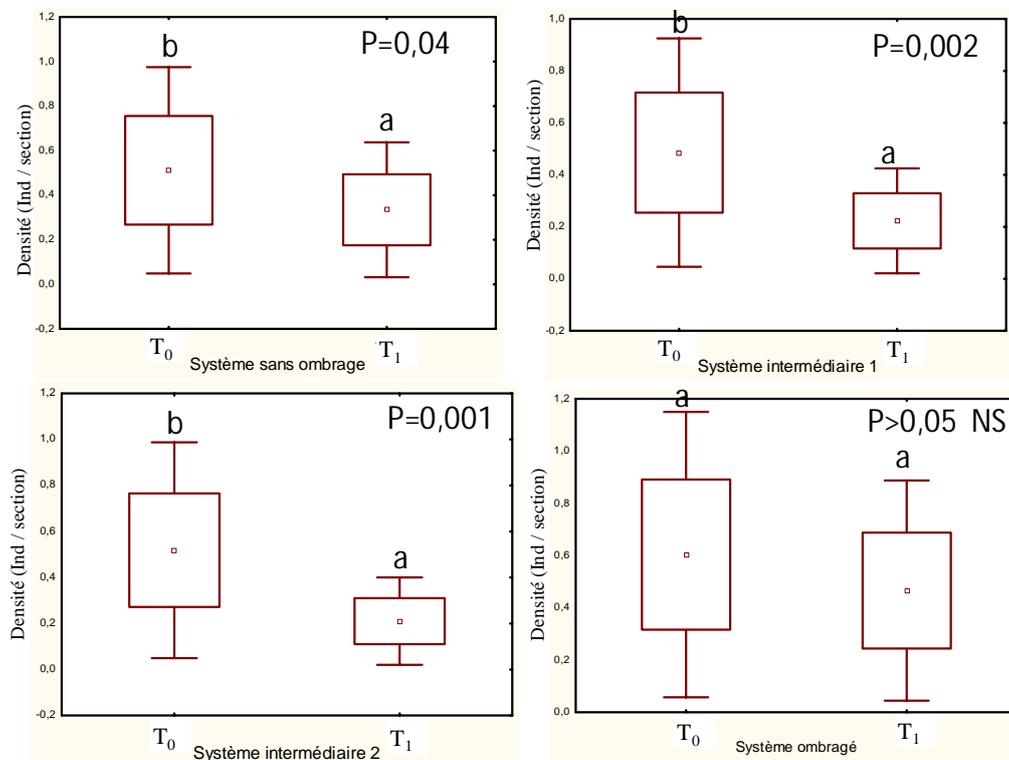


Figure 50: Densité des termites des différents systèmes d'ombrage suivant la fertilisation.

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test de Mann-Whitney). **NS:** Non significatif; **SSO:** système sans ombrage; **SI1:** système intermédiaire 1; **SI2:** système intermédiaire 2; **SO:** système ombragé

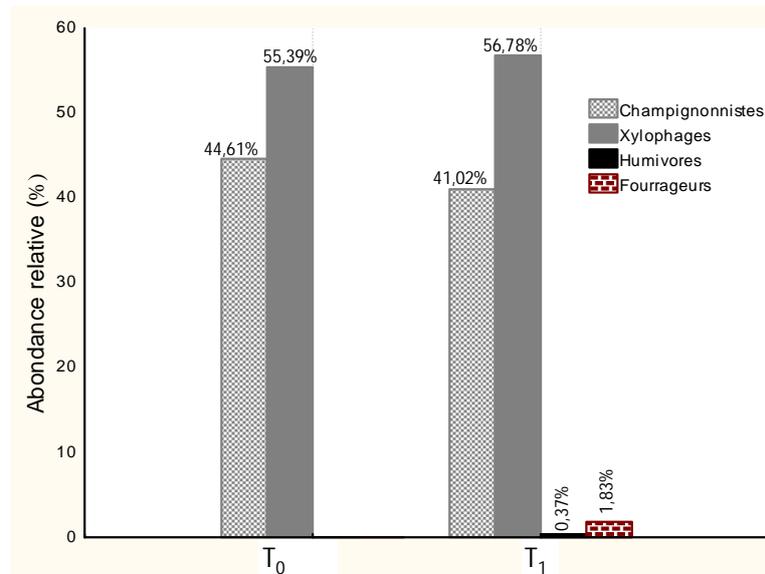


Figure 51 : Proportion des groupes trophiques de termites suivant la fertilisation

T₀ : Avant la fertilisation ; T₁ : Après la fertilisation

3.3.3. Effet de la fertilisation sur les indices de diversité des termites

La comparaison des indices de Shannon avant (T₀) et après (T₁) la fertilisation dans les quatre systèmes agroforestiers de cacao révèle des niveaux significativement différents de la diversité de Shannon dans les deux systèmes d'ombrage intermédiaires et dans le système ombragé (Figure 52). Dans les systèmes intermédiaire 1 et ombragé, la valeur de l'indice de Shannon est plus élevée après la fertilisation. Par contre, cet indice est plus faible dans le système intermédiaire 2 après la fertilisation. La différence entre les indices de Shannon dans le système sans ombrage n'est pas statistiquement significative.

L'estimation de la diversité spécifique montre qu'il n'y a pas de différence significative après la fertilisation dans le système sans ombrage et dans l'un des systèmes d'ombrage intermédiaire (Figure 53a et 53b). Cependant une légère baisse de la diversité spécifique après fertilisation est observée. La différence est significative dans le second système intermédiaire et dans le système ombragé (Figure 53c et 53d) avec une augmentation de la diversité spécifique après fertilisation. La fertilisation a donc eu un effet sur la diversité des espèces dans ces deux systèmes de culture du cacao.

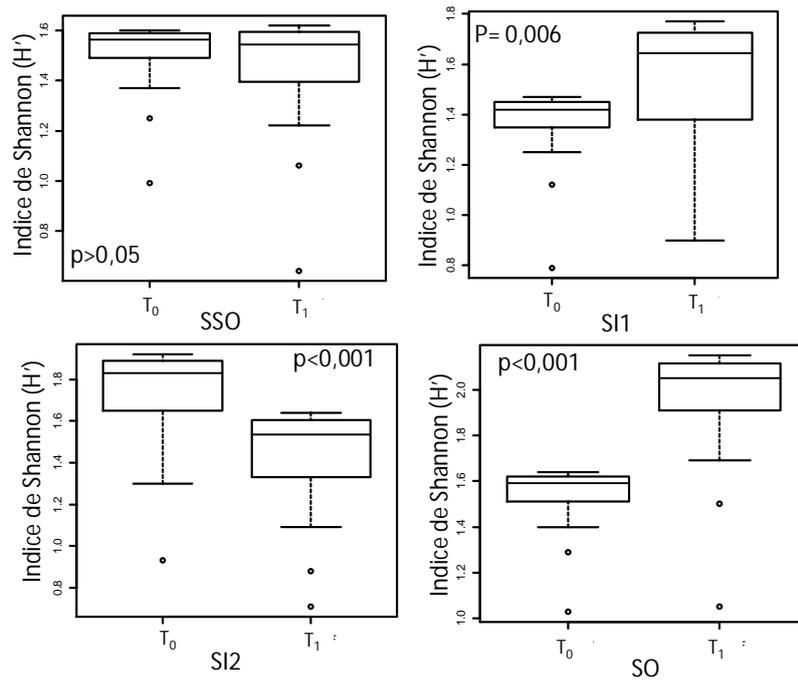


Figure 52 : Effet de la fertilisation sur l'indice de Shannon (test U de Mann–Whitney).

T₀ : Avant la fertilisation ; **T₁** : Après la fertilisation ; **SSO** : système sans ombrage ; **SI1** : système intermédiaire 1 ; **SI2** : système intermédiaire 2 ; **SO** : système ombragé

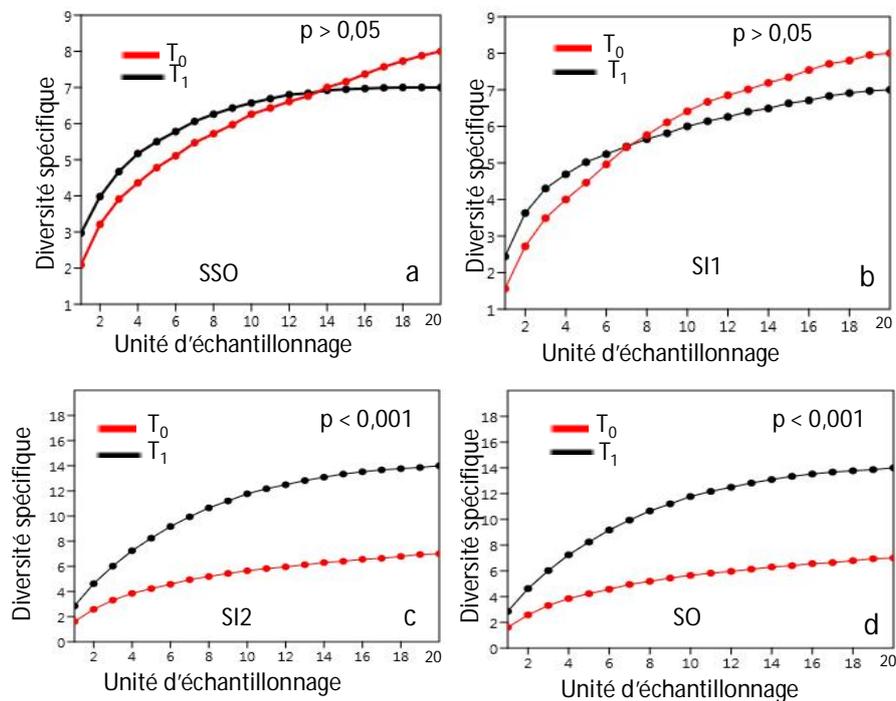


Figure 53 : Effet de la fertilisation sur la diversité spécifique (test U de Mann – Whitney).

T₀ : Avant la fertilisation; **T₁**: Après la fertilisation; **SSO**: système sans ombrage; **SI1**: système intermédiaire 1; **SI2**: système intermédiaire 2; **SO**: système ombragé.

3.3.4. Effet de la fertilisation sur les dégâts de termites

Au total neuf espèces de termites ravageurs ont été récoltées sur les cacaoyers des parcelles fertilisées (Tableau XXIX). Ces espèces sont responsables des dégâts causés sur les cacaoyers des différentes parcelles d'étude. Cinq espèces de termites ont été collectées sur les cacaoyers avant la fertilisation. Il s'agit de *M. fuscotibialis*, *N. arborum*, *N. diabolus*, *N. latifrons* et de *S. laminanus*. Ces espèces appartiennent au groupe des xylophages. A ces espèces s'ajoutent quatre (4) nouvelles espèces (*A. cavithorax*, *M. thoracalis*, *T. geminatus* et *T. oeconomus*) recensées après fertilisation. Ces quatre espèces appartiennent aux groupes des champignonnistes et des fourrageurs. Les dégâts occasionnés par les termites ont été classés en deux catégories : les dégâts mineurs et les dégâts majeurs (Figure 54). Les attaques des termites portent principalement sur les tiges et les branches des cacaoyers. Dans la plupart des systèmes d'ombrage, les dégâts mineurs sont plus élevés que les dégâts majeurs (Figure 55). Le système d'ombrage intermédiaire 2 est le système de culture le moins attaqué par les termites. A l'opposé, le système sans ombrage a subi le plus d'attaques de termites.

Sur l'ensemble des cacaoyers observés avant la fertilisation, 19,77% portent des attaques de termites de catégorie mineure tandis que les dégâts majeurs représentent 8,18%. 72,05% des cacaoyers observés sont sains. Par contre après fertilisation, la proportion de cacaoyers portant les dégâts mineurs est de 15,6%, contre 8,88% pour les dégâts majeurs. La proportion de cacaoyers sains après la fertilisation est évaluée à 75,52%.

De l'analyse des résultats quantitatifs, il ressort que les dégâts mineurs sont numériquement plus élevés par rapport aux dégâts majeurs dans presque tous les systèmes de culture sauf dans le système ombragé où avant la fertilisation le taux de dégâts majeurs était plus élevé que celui des dégâts mineurs. Les attaques diffèrent selon le système d'ombrage.

L'analyse des données montre qu'il existe une différence significative (Anova, $p = 0,003$) entre les cacaoyers attaqués par les termites des différents systèmes d'ombrage avant la fertilisation. Les attaques sont plus élevées dans le système sans ombrage mais plus faible dans le système intermédiaire 2 et dans le système ombragé (Figure 56). Après la fertilisation, une différence significative (Anova, $p = 0,009$) est également observée entre les cacaoyers attaqués dans les différents systèmes agroforestiers. Le nombre de cacaoyers attaqués est plus important dans le système sans ombrage alors que ce nombre baisse dans le système intermédiaire 2. Par contre la comparaison du taux d'attaque de termites de l'ensemble des milieux avant, puis après la fertilisation ne montre pas de différence significative, (Anova, $p = 0,502$) (Figure 57). Cela indique que la fertilisation n'a eu aucun effet sur les attaques de termites.

Tableau XXIX : Liste des espèces de termites récoltées sur les cacaoyers des différents habitats.

Espèces	T ₀	T ₁	GT
<i>Ancistotermes cavithorax</i>		*	C
<i>Microcerotermes fuscotibialis</i>	*	*	X
<i>Microtermes thoracalis</i>		*	C
<i>Nasutitermes arborum</i>	*	*	X
<i>Nasutitermes diabolus</i>	*	*	X
<i>Nasutitermes latifrons</i>	*	*	X
<i>Schedorhinotermes Laminanus</i>	*	*	X
<i>Trinervitermes geminatus</i>		*	F
<i>Trinervitermes oeconomus</i>		*	F
Total	5	9	

* : présence de l'espèce dans le milieu ; T₀ : Avant fertilisation ; T₁ : Après fertilisation ; C : Champignonniste ; X : Xylophage ; F : Fourrageur ; GT : groupe trophique

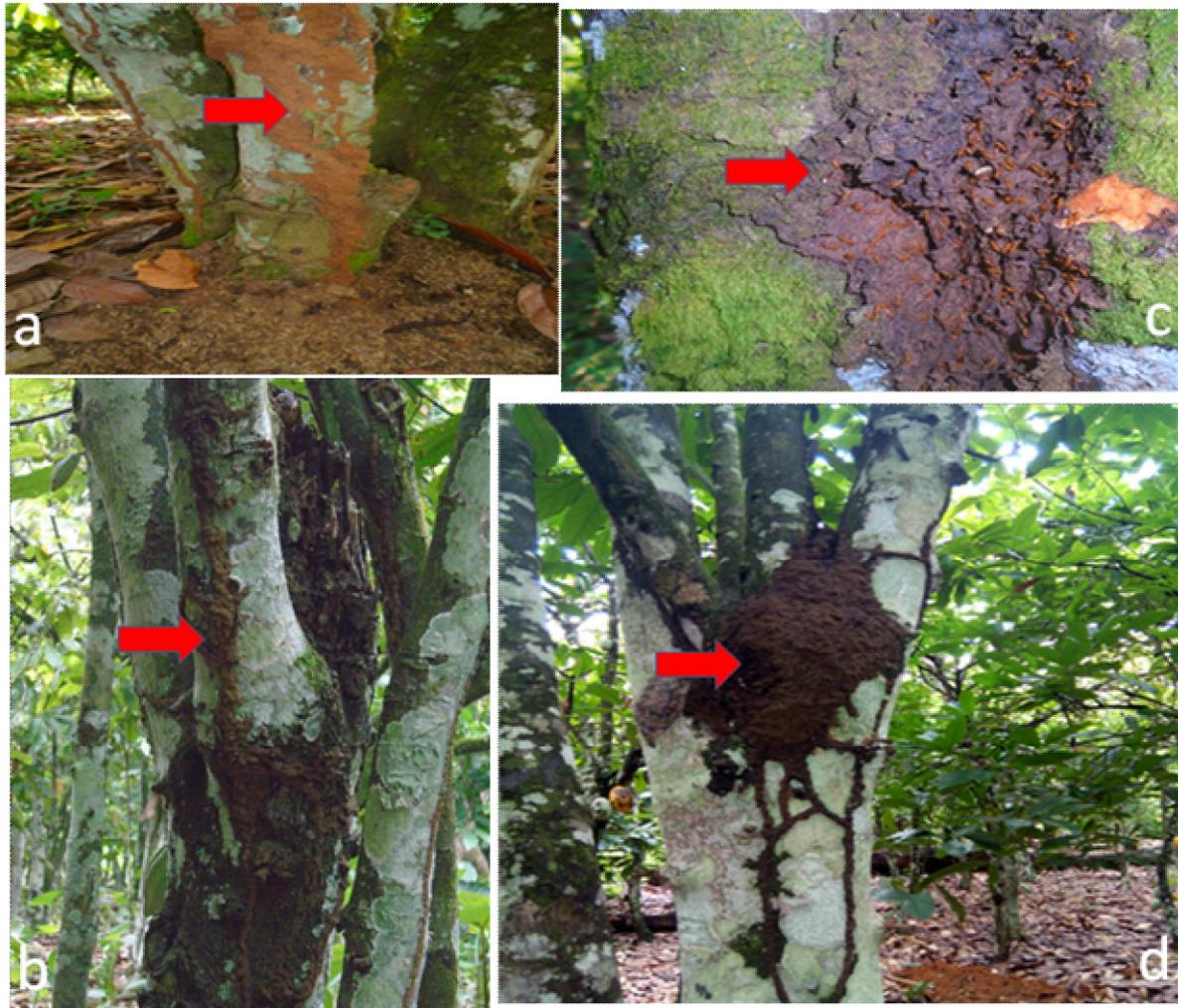


Figure 54 : Dégâts de termites sur les cacaoyers (a & b : dégâts mineurs ; c & d : dégâts majeurs)

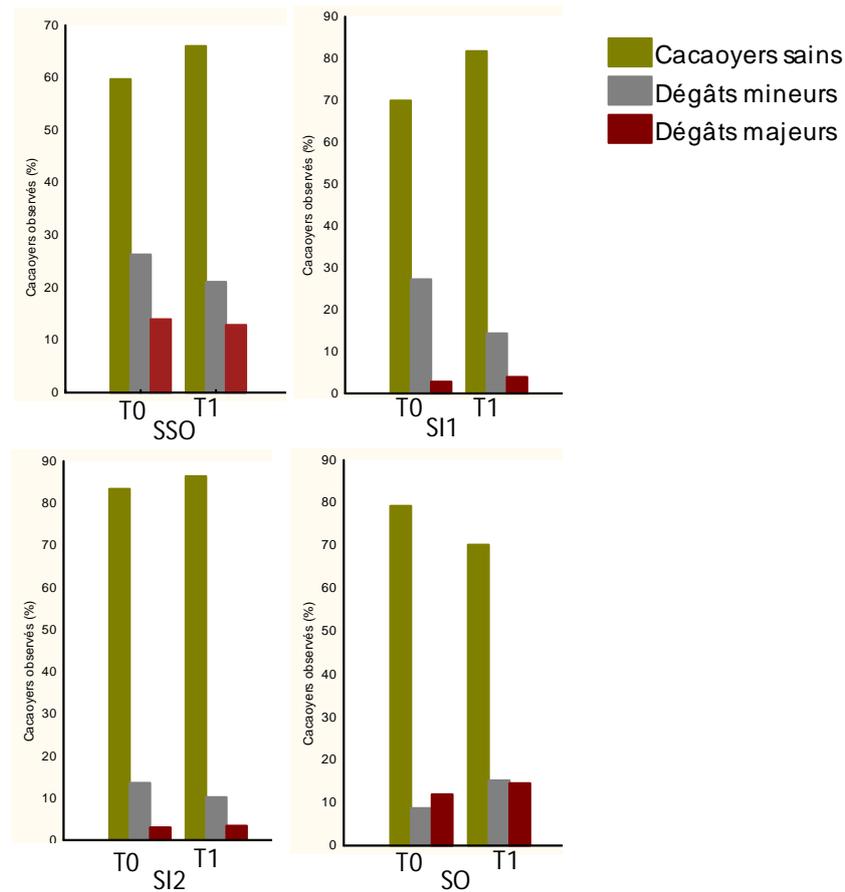


Figure 55 : proportion des types de dégâts par système d'ombrage suivant la fertilisation

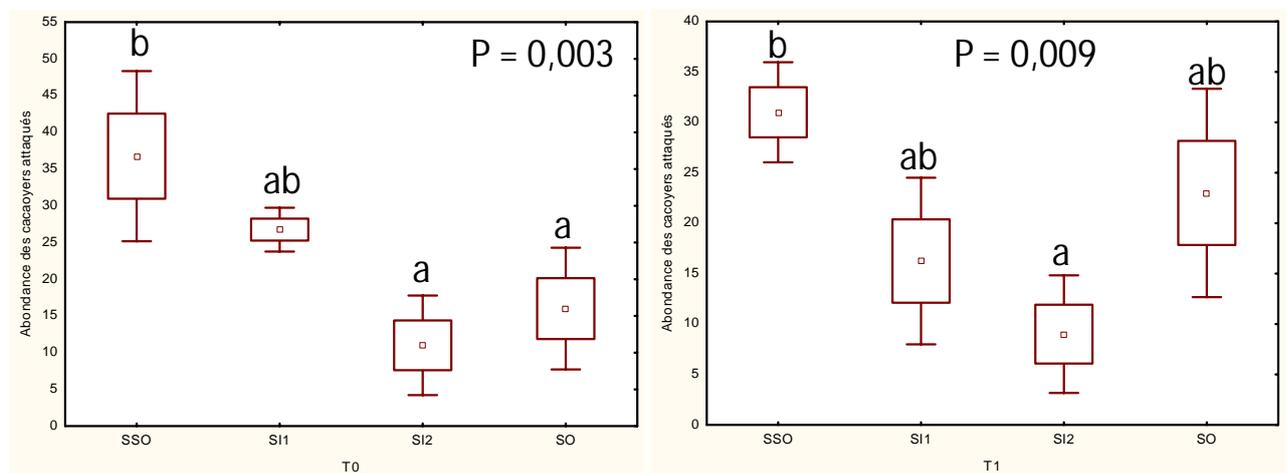


Figure 56: Abondance des cacaoyers attaqués

T₀ : Avant la fertilisation; T₁: Après la fertilisation; SSO: système sans ombrage; SI1: système intermédiaire 1; SI2: système intermédiaire 2; SO: système ombragé. Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test de tukey)

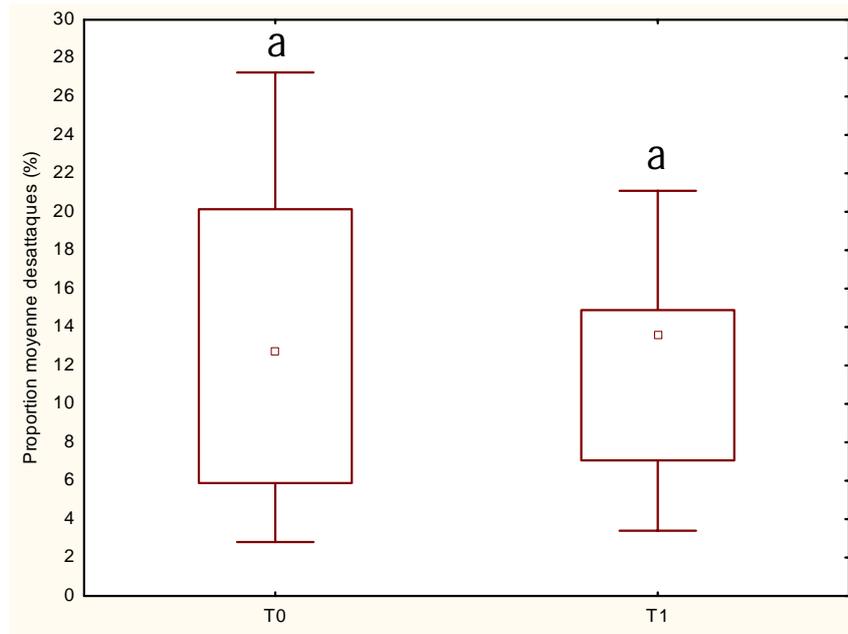


Figure 57: Proportion des attaques suivant la fertilisation

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test de Tukey)

3.3.5. Effet de la fertilisation sur les groupes trophiques de termites

Trois groupes trophiques ont été observés au niveau des dégâts sur les cacaoyers. Ce sont les champignonnistes, les fourrageurs et les xylophages (Figure 58). L'ensemble des dégâts est dominé par l'abondance des xylophages avec des proportions allant de 90,37 % à 100 %. La comparaison des groupes trophiques avant puis après la fertilisation montre que la fertilisation affecte la structure trophique des termites. Avant la fertilisation, les dégâts étaient occasionnés uniquement par les xylophages. Après fertilisation, la proportion des xylophages régresse en passant de 100 % à 90,37 %. Par contre les champignonnistes (3,01 %) et les fourrageurs (6,02 %) apparaissent. L'effet de la fertilisation à la fiente de poulet sur la structure trophique des termites est observé sur les dégâts de termites. Avec la fertilisation, l'abondance des xylophages diminue alors que l'apparition de deux groupes trophiques (champignonnistes et fourrageurs) est observée.

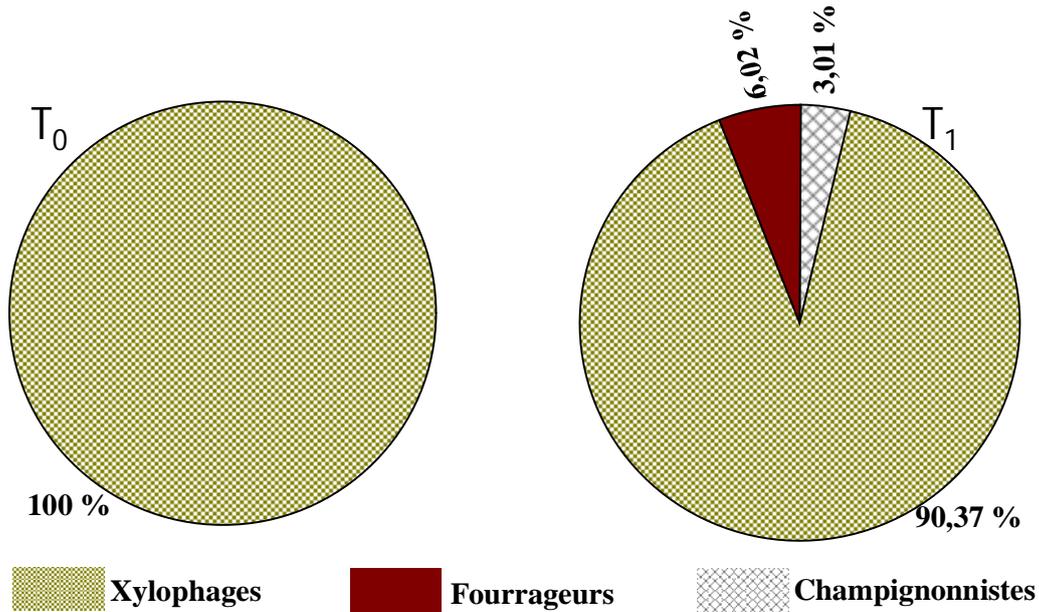


Figure 58: Proportion des groupes trophiques de termites issus des dégâts suivant la fertilisation

3.4. DISCUSSION

La flore ligneuse est caractérisée par une richesse spécifique de 83 espèces d'arbres appartenant à 32 familles. Les familles des Moraceae et des Meliaceae sont les plus représentées dans les agroforêts avec respectivement 10 et 8 espèces répertoriées. L'étude montre de grandes différences dans la richesse et la composition des espèces dans les quatre systèmes agroforestiers de cacaoyers. En termes de richesse en espèces végétales, une augmentation du nombre d'espèces végétales des systèmes sans ombrage aux systèmes ombragés est constatée. Cependant, la richesse en espèces des arbres forestiers est plus importante par rapport aux espèces fruitières dans les systèmes ombragés et dans les systèmes intermédiaires. Cela pourrait s'expliquer par les sensibilisations effectuées par certaines structures (ICRAF, WCF, CNRA...) dans la zone d'étude pour l'introduction d'arbres dans les plantations. De plus, les structures en charge de l'encadrement des producteurs de cacao dans ces zones fournissent en général pour l'ombrage dans les plantations déjà en production, des arbres forestiers dont la plupart des espèces présentent des intérêts, médicinal, artisanal, traditionnel et/ou coutumier pour le paysan ou pour la gestion des conditions environnementales dans leurs plantations. Certaines essences forestières présentes dans la plupart des plantations de la zone d'étude comme *Albizia adianthifolia*, *Ceiba pentandra*, *Ficus exasperata*, *Funtumia elastica*, *Hevea brasiliensis*, *Spathodea campanulata*, *Spondias mombin* et *Terminalia superba* avaient été identifiées dans des agroforêts d'autres régions de

la Côte d'Ivoire par plusieurs auteurs dont Assiri *et al.* (2009, 2012), Vroh *et al.* (2015) et Adou Yao *et al.* (2016).

Une abondance des jeunes arbres de diamètre compris entre 10 et 20 cm est observée dans les parcelles alors que les arbres de diamètre supérieur à 80 cm sont rares. Le nombre élevé de jeunes arbres montre que les parcelles étudiées disposent de plusieurs arbres d'avenir pour assurer leur reconstitution agroforestière et tenter de trouver un équilibre entre biodiversité et avantages économiques. L'absence ou la rareté des arbres de diamètre supérieur à 80 cm confirme l'abattage des grands arbres lors de l'installation des parcelles cacaoyères. La conservation et l'introduction des espèces forestières dans les plantations cacaoyères pourraient être liées à la reconnaissance par le nouveau code forestier ivoirien adopté en 2014 de la propriété de l'arbre au propriétaire de la terre. Cela pourrait inciter ces derniers à laisser proliférer ces arbres forestiers ou à les introduire dans les plantations en espérant qu'en plus des services environnementaux qu'ils apportent à la plantation, ces arbres pourraient être utilisés par les producteurs sans aucune contrainte.

Au total, 29 espèces de termites réparties dans 17 genres, 7 sous-familles et 3 familles (Rhinotermitidae, Termitidae et Kalotermitidae), ont été recensées dans l'ensemble des systèmes de cultures. Ces résultats sont similaires à ceux de Ndiaye (1998) qui a récolté le même nombre d'espèces de termites dans des vergers d'arbres fruitiers au Sénégal avec la méthode de collecte des termites sur les arbres. Par contre, des études réalisées en Côte d'Ivoire par Tano (1993), Tra Bi (2013) et Coulibaly (2014) ont permis d'obtenir un nombre d'espèces plus élevé. Ces auteurs ont recensé respectivement 42 ; 34 et 36 espèces de termites. Chez le premier auteur cité, la différence s'expliquerait par le fait qu'il a travaillé dans une savane ayant une nature particulière. Cette savane de Boro-Borotou a été identifiée comme étant l'une des savanes les plus riches en termites comparativement aux autres savanes africaines. De façon générale la diversité spécifique est plus faible dans les zones les plus anthropisées. Ceci est en accord avec les travaux de Samb *et al.* (2011) qui avaient observé que la diversité des espèces diminuait dans les zones les plus fréquentées par les humains. En outre, l'utilisation de pesticides dans les cacaoyères pourrait contribuer fortement à la baisse du nombre d'espèces de termites dans les parcelles d'étude. Ces différences résulteraient également du fait que, selon Eggleton (2000), la répartition des termites se traduit par une diversité et une abondance qui varient d'un écosystème à un autre en fonction du climat, du type de sol et de la végétation. La diversité et la composition floristique de la zone d'étude influenceraient donc cette différence spécifique. Selon Anani *et al.* (2008), la

différence spécifique observée entre différents milieux d'études serait liée à la nature du sol et surtout à la composition floristique qui entoure chacun de ces milieux.

Sur le plan trophique, la présence des 4 groupes traduit une bonne diversité fonctionnelle de la faune termitologique. Le peuplement est dominé par les champignonnistes et les xylophages dans tous les systèmes de culture, traduisant une abondance de nourriture en bois et en litière des différents milieux. En effet, les champignonnistes récoltent leur nourriture à partir de feuilles mortes, de bois morts et d'herbes desséchées. Ce résultat est en accord avec les travaux de Tra Bi *et al.* (2010) qui expliquent la dominance des champignonnistes par leur adaptation favorisée par la relation symbiotique qu'ils entretiennent avec le champignon *Termitomyces* qui leur facilite la dégradation du bois. L'existence d'une corrélation entre le système sans ombrage et le groupe des xylophages, serait un indicateur du taux élevé des dégâts de termites. Par contre l'abondance des humivores dans le système plein soleil par rapport aux autres systèmes pourrait être due à l'évolution de la structure du sol (sol constamment exposé à la lumière) au fil des années dans le système plein soleil qui a favorisée l'installation de ce groupe de termites dans ce milieu plus dégradé.

Le diagnostic de l'état sanitaire du verger de cacaoyers au regard des attaques de termites a révélé la présence de onze espèces de termites dans les 4 systèmes de culture. Ce résultat est identique à celui d'Ano *et al.* (2018) et très proche du résultat de Tra Bi (2013) qui ont obtenus respectivement 11 et 12 espèces respectivement dans les plantations de cacao d'Abengourou et d'Oumé. Ces espèces appartiennent en majorité aux groupes des xylophages et des champignonnistes. En outre, ces deux groupes de termites sont responsables des dégâts observés sur des manguiers au nord de la Côte d'Ivoire (Coulibaly *et al.*, 2014). Dans cette étude, deux espèces de xylophages sont particulièrement présentes dans tous les systèmes de culture. Il s'agit de *Microcerotermes fuscotibialis* et *Nasutitermes arborum*. Dans la plupart des cas, ces deux espèces de termites construisent des nids arboricoles sur les branches ou sur l'intersection des branches des cacaoyers. De ces nids partent, des galeries ou tunnels sur les troncs des cacaoyers et pouvant atteindre le sol. Ces galeries laissent entrevoir des perforations dans l'écorce des cacaoyers infestés qui provoquent souvent leur mort. Les infestations constatées au cours de cette étude montrent qu'elles sont majoritairement de type I. Ces résultats sont en accord avec ceux de Coulibaly *et al.* (2018) qui ont observé des taux plus élevés de dégâts de termites de type I sur des arbres au campus de l'université de Korhogo au nord de la Côte d'Ivoire. Ces proportions élevées d'attaques du type I sont dues

au mode d'attaques des différentes espèces de termites rencontrées. En effet, la plupart des termites construisent des placages de terre sur les troncs des plantes. Ces placages leur servent de protection pour attaquer la plante (Gbenyedji *et al.*, 2016). Cette action peut se traduire chez les cacaoyers par la baisse de l'activité photosynthétique due à la couverture du tronc du cacaoyer par des placages terreux. Logan & El Bakri (1990) ont montré que la présence de galeries et de placages de récolte sur l'arbre peut réduire sa capacité photosynthétique et lui causer le stress. Cela peut conduire à la baisse des rendements et même à la mort du cacaoyer.

L'évaluation des taux d'attaques de termites a montré que les attaques étaient plus fréquentes dans les systèmes sans ombrage (61,49%), tandis que les systèmes intermédiaires sont les moins attaqués. Le taux d'attaque des termites est variable selon les parcelles et les systèmes d'ombrage. Cet état de fait avait été observé par des cacaoculteurs qui ont estimé que les infestations de termites augmentaient parallèlement avec l'élimination croissante des arbres d'ombrage (Djuideu *et al.*, 2019). Le taux élevé d'attaques de termites dans les systèmes sans ombrage pourrait s'expliquer par la vulnérabilité de ce système face aux attaques des insectes ravageurs. Les parcelles des systèmes sans ombrage sont des plantations âgées et cela pourrait avoir un effet sur l'installation et les attaques de termites. Tra bi (2013) a montré que le milieu et l'âge des parcelles influençaient les attaques des termites. Anani *et al.* (2010) ont également observé que l'incidence et l'intensité des attaques de termites varient suivant l'espèce, la localité et les conditions édaphiques. Les attaques de termites pourraient donc être liées à la nature du sol (sol rouge ferrallitique dans la zone d'étude) qui favoriserait l'installation des termitières, sources des infestations des plantes (Gbenyedji *et al.*, 2016).

L'étude a montré que les systèmes intermédiaires sont les moins attaqués par les termites, particulièrement celui proche du système ombragé. En effet, les parcelles du système intermédiaire 2 ont enregistré moins d'attaque de termites que les parcelles des autres localités. Cette faible attaque des termites dans ce système intermédiaire très proche du système ombragé pourrait s'expliquer par la composition et la complexité de ce système. Plusieurs facteurs dont l'ombrage influenceraient également l'installation des termites dans ces parcelles. Ce système de gestion intermédiaire pourrait donc aider à réduire les attaques de termites.

Le nombre moyen de cabosses par cacaoyers varie d'un système à un autre. Il est plus faible dans le système ombragé par contre plus élevé dans le système plein soleil. Le matériel végétal utilisé est à peu près le même dans les différents systèmes agroforestiers. Cette

différence du nombre moyen de cabosses serait due à l'ombrage. En effet, un ombrage élevé pourrait être une cause de l'augmentation de la pourriture brune dans les systèmes ombragés. Dans ces systèmes, le fort ombrage additionné aux facteurs environnementaux tels que les pluies, l'humidité relative élevée et les basses températures créent des conditions favorables au développement de la pourriture des cabosses. Ce résultat obtenu corrobore ceux obtenus par Kouadio *et al.* (2018) qui ont trouvé un faible nombre de cabosses dans les SAFc complexes. Pour ces auteurs, ce faible nombre de cabosses est lié aux conditions environnementales telles que la densité d'arbres associés qui influencerait fortement la productivité d'un cacaoyer. L'ombrage modifie la quantité de lumière, les températures et les mouvements d'air dans la cacaoyère et affecte directement la photosynthèse, la croissance et le rendement du cacaoyer (De Almeida & Valle, 2007). Jagoret (2011) avait observé que le nombre moyen de cabosses par cacaoyer diminuait significativement avec la densité des arbres associés, le nombre d'espèces associées et la densité des arbres forestiers.

Les résultats montrent une variation significative de la masse moyenne d'une cabosse dans les différents systèmes agroforestiers. La variation est observée quelque soit l'état sanitaire des cacaoyers. La masse moyenne d'une cabosse est statistiquement la même dans les systèmes intermédiaires et dans le système ombragé, mais elle est plus élevée dans le système plein soleil. Une variation de la masse moyenne des fèves fraîches suivant celle de la masse moyenne des cabosses est observée. Par contre le type de SAFc n'influe pas sur le nombre de fèves par cabosses. La masse moyenne d'une cabosse serait donc fonction soit de la masse des fèves fraîches, soit de la masse de la coque de la cabosse et ne dépendrait pas du nombre de fèves. Ces deux paramètres pouvant eux même être influencés par le type de SAFc, le type de sol et par le type de matériel végétal. Ces résultats s'alignent sur ceux de Kouadio *et al.* (2018) qui ont souligné que les cabosses produites par les cacaoyers de variété « cacao Ghana » sont plus volumineuses que les cabosses de variété « cacao français » et produisent des fèves de masse supérieure. En outre, Youbi *et al.* (2018) ont montré que les cacaoyers sous ombrage ont des fèves plus légères que ceux conduits sans ombrage. Les masses moyennes des fèves fraîches obtenues dans les différents SAFc sont supérieures à la valeur moyenne de 115 g de fèves fraîches par cabosse obtenue par Babin (2009) suite à des mesures conduites en 2003 et 2004 dans des SAFc au Cameroun. Cette différence de masse pourrait être liée aux multiples facteurs biologiques et physiologiques intervenant sur le poids des fèves. Ces différents facteurs tels que les facteurs nutritionnels sont importants dans la détermination du poids moyen d'une fève (Lachenaud, 1991).

Le rendement moyen en cacao marchand des cacaoyères des différents SAFc donne des valeurs respectives de 407,88 kg / ha ; 422,16 kg / ha ; 538,28 kg / ha et 801,83 kg / ha par an pour des systèmes allant du plus ombragé au plein soleil. La quantité de cacao marchand produite par hectare dans l'année est largement plus élevée dans le système sans ombrage. Les quantités de cacao marchand produites dans le second système intermédiaire et dans le système ombragé sont presque la moitié de celle produite dans le système sans ombrage. Cette dominance de rendement du système sans ombrage s'explique par le fait que la productivité du cacaoyer diminue lorsqu'il est cultivé sous un ombrage élevé (Jagoret, 2011). En effet, il est établi qu'un ombrage excessif crée un microclimat plus humide, favorisant la prolifération de maladies telle que la pourriture brune, qui réduit la production (Mossu, 1990 ; Boulay, 1998). En outre, la densité plus élevée dans le système sans ombrage par rapport aux autres systèmes pourrait être un facteur déterminant dans l'augmentation du rendement.

Les rendements dans les différents SAFc sont supérieurs à la moyenne nationale (395 Kg/ha/an) obtenue par Assiri *et al.* (2009) en Côte d'Ivoire et à la valeur moyenne de 325,85 Kg/ha obtenue par Kpangui (2015) dans le centre de la Côte d'Ivoire. Ces rendements sont également supérieurs à la valeur de 390 Kg / ha / an obtenue par Freud *et al.* (2000) dans les plantations paysannes de l'Est, du centre-Ouest et du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire et par Aguilar *et al.* (2003) au cours d'enquêtes portant sur les systèmes de production en zone cacaoyère de Côte d'Ivoire. Néanmoins, les rendements des systèmes intermédiaire 2 (422,16 Kg/ha) et ombragé (407,88 Kg / ha) sont comparables à la moyenne nationale mais inférieurs à celui obtenu par Varlet & Kouamé (2013) dans la périphérie du Parc National de Taï qui était de 455 Kg/ha. Par contre les rendements enregistrés dans le système intermédiaire 1 et dans le système plein soleil (538,28 et 801,83 kg / ha) surplombent le rendement moyen obtenu à Taï par Valet & Kouamé (2013). Le rendement moyen de 801,83 kg / ha obtenu dans le système sans ombrage est supérieur mais voisin des rendements moyens de 700 kg /ha observées dans certaines plantations paysannes (Assiri *et al.*, 2009). Ces rendements élevés seraient liés à la zone d'étude qui abrite 28 % de la cacaoyère ivoirienne, et dont les rendements seraient les plus élevés en Côte d'Ivoire (Kouassi, 2014). De plus, la majorité des parcelles du système sans ombrage sont dominées par des plantations dont l'âge varie entre 20 et 50ans. La présence d'un peuplement hétérogène dû à la redensification régulière pourrait être l'une des raisons pouvant expliquer ce résultat (Jagoret, 2011). Cela pourrait également être le fait d'un peuplement devenu vigoureux avec le temps. En effet, selon Youbi *et al.* (2018), un peuplement devenu vigoureux (enracinement profond, hauteur des cacaoyers

élevée), est plus compétitif, et apte à utiliser les éléments du sol lessivés vers la profondeur, pouvant ainsi améliorer la productivité des cacaoyers. Cependant les résultats obtenus seraient en contradiction avec ceux de Petithuguenin (1995) et de Ruf (1999) qui ont observé qu'à l'Ouest et au Sud-Ouest du pays, les cacaoyères se dégradent précocement, après 10 à 15 ans d'exploitation, sous l'effet conjugué de la conduite en plein soleil.

Malgré les rendements supérieurs à la moyenne nationale obtenus dans la zone d'étude, ils sont très inférieurs au rendement moyen en cacao marchand de 2940 kg/ha obtenu au Cameroun par Ondoua *et al.* (2014) avec une densité de 1111 pieds / ha. Ce large écart de rendement serait lié à la structure du peuplement végétal de la cacaoyère, notamment au matériel végétal utilisé. Il est établi que les agroforêts à base de cacaoyer hybride présentent en moyenne de meilleures performances en termes de rendement potentiel en cacao marchand que les cacaoyères agroforestières à base de variétés locales.

Les résultats montrent un différentiel de rendement entre les cacaoyers sains et ceux infestés. La perte de rendement est évaluée à plus de 95 kg / ha / an dans tous les SAFc, et avoisine même les 150 kg / ha / an dans certains SAFc, entraînant un manque à gagner pour les producteurs. Ces pertes de rendement dans les différents systèmes agroforestiers sont la conséquence de la réduction de l'activité des cacaoyers infestés par les termites et d'autres ravageurs. En effet, le rendement potentiel d'une cacaoyère dépend du nombre moyen de cabosses par cacaoyer et de la densité des cacaoyers (Jagoret, 2011). Le nombre moyen de cabosses par cacaoyer est une composante essentielle dans la détermination du rendement. Or une plante attaquée par des ravageurs, a une activité physiologique réduite. Cela aura pour conséquence la réduction du nombre de cabosses et par conséquent la baisse de la production du cacaoyer.

Au total, 63 espèces de fourmis regroupées en 30 genres et 07 sous-familles ont été collectées dans l'ensemble des systèmes de gestion cacaoyère. Le taux élevé de la couverture d'échantillonnage (plus de 63% de la myrmécofaune attendue) atteste que les méthodes utilisées au cours de cette étude seraient adaptées pour l'étude des communautés de fourmis dans les différents systèmes d'ombrage. Ces résultats représentent environ la moitié de ceux obtenus par Yéo (2006) et Koné (2013). 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, tandis que 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). La forte richesse spécifique obtenue par ces auteurs pourrait être due, au fait que Yéo (2006) a travaillé dans une réserve (milieu naturel), tandis que Koné (2013) en plus du milieu naturel, a également travaillé dans des plantations de différents types de culture. Cette différence spécifique pourrait également être due à la méthodologie utilisée. En effet, ce sont les méthodes d'appât alimentaire et de collecte directe sur les cacaoyers qui ont été utilisées pour cette étude, alors que les autres auteurs ont utilisé le protocole A.L.L (Ants of the Leaf Litter) combinant deux méthodes (la méthode des sacs Winkler et la technique des piège-fosses) et la méthode des monolithes.

La richesse spécifique moyenne des fourmis varie significativement suivant les systèmes d'ombrage. Elle est plus élevée dans les systèmes intermédiaires et décroît du système sans ombrage au système ombragé. La faible richesse des fourmis dans le système sans ombrage serait due à la destruction des habitats originels qui entraîne l'élimination des plantes natives et leur remplacement par des plantes exotiques causant des changements partiels des conditions abiotiques et biotiques (Koné, 2013). Sachant que la biodiversité des fourmis varie en fonction des espèces végétales d'un site, dans un tel milieu modifié (système sans ombrage), le degré et le type de perturbation de cet habitat contribuent à réduire la diversité et la richesse spécifique des fourmis (Barbosa *et al.*, 2015; Graham *et al.*, 2004). Fimbel *et al.*, (2001) et Daily *et al.*, (2001) ont d'ailleurs soutenus que dans un milieu modifié, la richesse et la composition des espèces sont affectées par la qualité de l'habitat. Au niveau du système ombragé, la faible richesse spécifique pourrait être attribuée au fait que ce système est devenu comme un milieu reconstitué, or les fourmis sont peu présentes en forêt très fermée car la quantité d'énergie radiante disponible au niveau du sol représente un facteur limitant (Brown, 1973 ; Punttila *et al.*, 1994). Par ailleurs, il est établi que le retour à l'état initial d'une forêt suite à une modification par les activités telle que l'agriculture peut avoir d'énormes effets sur la faune et la flore (Vasconcelos *et al.*, 2000). Or le système ombragé est un SAF complexe typique de cette description. Les activités humaines pourraient donc contribuer à modifier la composition spécifique du peuplement de fourmis dans ce système.

La comparaison au niveau des habitats montre une influence des milieux sur la composition spécifique des fourmis. Cela révèle l'état de perturbation du milieu, car les fourmis sont de bons indicateurs biologiques de la perturbation dans les écosystèmes terrestres (Yéo *et al.*, 2011). Des différences ont été établies au niveau de la structure des communautés de fourmis en analysant l'abondance relative des sous-familles. Trois des sept sous-familles de fourmis identifiées, sont plus abondantes dans les différents systèmes de culture : les Formicinae, les

Ponerinae et les Myrmicinae. Au sein de chaque système d'ombrage, les Formicinae sont les plus abondantes. Cela est sans doute dû à l'abondance élevée des occurrences de l'espèce *Oecophylla longinoda* collectée dans la plupart des cas sur les arbres d'ombrage. L'abondance relative des Formicinae ne varie pas selon les systèmes d'ombrage. Ces résultats indiquent une bonne adaptation de *Oecophylla longinoda* aux différents systèmes d'ombrage. La seconde sous-famille la plus abondante est celle des Ponerinae. Leurs abondances relatives ne varient pas selon les systèmes d'ombrage. La plupart des espèces de la sous-famille des Ponerinae sont des prédateurs et la forte diversité de proie dans les cacaoyères pourrait expliquer leur préférence pour ces habitats. Les Ponerinae sont aussi reconnues comme étant susceptibles aux changements du microclimat et seraient des indicateurs du type de milieu (Hölldobler & Wilson, 1990). La sous-famille des Myrmicinae est la dernière sous-famille la plus abondante. Leur abondance relative varie significativement suivant le système d'ombrage contrairement aux autres sous-familles. Elle est très abondante dans le système intermédiaire 2, relativement abondante dans le système sans ombrage et dans le système intermédiaire 1, mais très faiblement rencontrées dans les parcelles du système ombragé. La variation observée dans cette sous-famille indique que les espèces de cette sous-famille réagissent différemment aux différents systèmes d'ombrage. L'abondance élevée des Myrmicinae dans les différents systèmes d'ombrage pourrait être liée à leur importance nombre au niveau de la faune mondiale (Hölldobler & Wilson, 1990 ; Bolton, 1994). Cette prépondérance des Myrmicinae a aussi été signalée lors d'une étude des Formicidés dans deux stations en Algérie par Dehina (2009). Bickel & Watanasit (2005) ont fait remarquer que la plupart des Myrmicinae sont des habitants typiques de litières. La réduction de la litière avec les modes d'utilisation des terres pourrait entraîner la baisse de la biodiversité des espèces de cette sous-famille.

D'une manière générale, la variation significative de la richesse spécifique et de l'abondance des fourmis entre les différents systèmes d'ombrage suggère que la typologie et la qualité de ces habitats peuvent influencer les communautés de fourmis qu'ils abritent. De même, les modifications d'habitats peuvent directement affecter les communautés de fourmis, leurs proies ainsi que les autres animaux avec lesquels elles interagissent. Lavelle (1987) a d'ailleurs montré que la mise en culture pourrait entraîner une rapide destruction ou diminution de certaines communautés du sol telles que les fourmis.

L'abondance de *Oecophylla longinoda* n'est pas corrélée à l'abondance des dégâts sur les cacaoyers. L'abondance de *O. longinoda* est statistiquement identique dans les systèmes

d'ombrage alors que l'abondance des dégâts de termites sur les cacaoyers est différente. *Oecophylla longinoda* a une abondance élevée dans les systèmes d'ombrage mais ne semblent pas avoir un effet significatif dans la réduction des attaques de termites. *O. longinoda* est une des espèces dominantes de la sous-famille des Formicinae qui a été abondamment collectée dans les différents milieux. Son abondance dans ces milieux serait due à son mode de vie arboricole et à son régime omnivore. De ce fait, ces milieux lui offriraient plus de disponibilité de site de nidification et sources de nourriture, ce qui pourrait favoriser sa distribution. La présence de *O. longinoda* n'a pas d'effet sur les dégâts de termites mais pourrait influencer les attaques d'autres bioagresseurs du cacaoyer. En effet, il a été montré qu'en Afrique de l'ouest la fourmi *Oecophylla longinoda*, est prédatrice des capsides (Leston, 1973) et d'autres espèces de fourmis contrôlèrent certaines maladies fongiques des cacaoyers (Khoo & Ho, 1992). Même si dans cette étude des liens directs entre l'abondance des oecophylles et les dégâts de termites n'ont pas été observés, les fourmis restent une perspective intéressante dans la lutte biologique contre les termites (Grâce, 2003). En effet, l'abondance des termites diminue avec l'augmentation de l'abondance des fourmis dans le système intermédiaire 2, vérifiant ainsi l'hypothèse de l'existence d'une relation entre ces deux groupes d'insectes. L'abondance des fourmis a un effet sur celle des termites et de ce fait serait responsable de la réduction des dégâts de termites dans ce système de culture. Cette observation confirme les résultats de Way & Khoo (1992) montrant que dans certains écosystèmes agricoles, les fourmis contrôlent la population de ravageurs soit en exerçant une prédation directe sur ceux-ci, soit en produisant des substances chimiques causant la baisse de la population de ravageurs sur les plantes hôtes qui sont attaquées. Il a été rapporté que les fourmis représentent les prédateurs de beaucoup de ravageurs des cultures (Tobin, 1994). Pour exemple, une fourmi du genre *Camponotus* a plusieurs fois été observée dévorant un criquet pèlerin mort confirmant les observations de Predtetchensky (1935a) qui avait montré que *Camponotus* sp. se nourrit de criquet pèlerin (Abdou & Ahmed, 2015). De même, la fourmi noire du cacaoyer *Dolichoderus thoracicus* élimine les mirides, les vrilles des cabosses de cacao et les attaques des écureuils dans le sud-est de l'Asie (See & Khoo, 1996). La fourmi *Anoplolepis longipes* limite les attaques des charançons (coléoptère) en Papouasie nouvelle Guinée (McGregor & Moxon, 1985). En raison de leur importance numérique, les fourmis jouent de grands rôles dans les milieux qu'elles occupent (Savolainen *et al.*, 1989). Elles sont de très importantes prédatrices d'insectes et autres invertébrés (Niemelä *et al.*, 1992 ; Punttila *et al.*, 2004), et peuvent contribuer à limiter les populations d'insectes ravageurs comme les

chenilles de papillons ou d'hyménoptères par exemple lors de leurs pullulations (Karhu, 1998).

L'analyse de corrélation révèle une relation entre des espèces de termites et les variables environnementales. En effet, la quantité de litière, d'herbes, de débris et le pourcentage de sable, d'argile et de limon sont les paramètres environnementaux ayant une influence sur l'abondance de certaines espèces de termites. Ainsi, les abondances relatives de *Odontotermes* sp.2, *P. urgens* et *A. crucifer* sont corrélées à la quantité de litière. Cette liaison s'explique par le fait que les deux premières espèces sont des champignonnistes et que leur nourriture est essentiellement constituée de litière. Dans la plupart des cacaoyères, avec la perte abondante des feuilles, ces parcelles ont une litière riche et une abondance de particules organiques en décomposition qui constituent une importante source de nourriture pour ces espèces. Les espèces *P. militaris*, *A. cavithorax*, *M. bellicosus* et *P. orthocephus* sont positivement corrélées à la quantité d'herbes. Ces espèces ont été plus rencontrées dans le système 2 et dans le système ombragé. La forte diversité de plantes dans ces habitats a favorisé un microclimat adapté, une source abondante et diversifiée de nourriture conduisant à leur prolifération. Les abondances relatives de *M. thoracalis*, *M. edentatus*, *C. intermedius* et *M. subhyalinus* sont fortement associées à la présence de sable. Par contre l'espèce *M. parvus* est liée à la présence de limon. Une corrélation positive est observée entre l'argile et les espèces *M. subhyalinus* et *M. fuscotibialis* ainsi que l'espèce *A. guineensis* et la quantité de débris. Ces différentes liaisons entre les espèces de termites et ces paramètres de l'environnement sont généralement dues à la préférence de ces espèces pour ces milieux qui sont pour certains des milieux dégradés. La quantité de nourriture disponible dans ces habitats pourrait également être liée à la présence de certaines espèces qui s'adaptent au nouvel environnement. La présence d'une espèce dans un milieu est liée à une raison ou à un phénomène, qui pour certains, ne sont élucidés.

Dans la distribution de la myrmécofaune, certaines espèces sont influencées par des paramètres environnementaux à des degrés divers. L'existence d'une corrélation entre les espèces *Pheidole* sp.2, *Plagolepsis* sp, *Lepisiota megacephala* et les arbres fruitiers est observée. La quantité de débris et les arbres forestiers sont corrélés respectivement aux espèces *Phrynonopona* sp, *Hypoconopona* sp, *Odontomachus troglodytes* et aux espèces *Camponotus vividus*, *Nylanderia scintilla*, *Pheidole* sp.4. Les sites d'études ne sont pas des milieux naturels et sont semblables pour certains à des milieux perturbés, ce qui favoriserait la prolifération de certaines espèces telle que *O. troglodytes*. Selon Diomandé (1981), ce sont des espèces qui préfèrent les habitats ouverts ou perturbés d'où leur abondance dans les

différents milieux. Les espèces *Anoplolepis* sp, *Camponotus maculatus*, *Cerapachys* sp, *Pachycondyla tarsata* et *Pheidole* sp.8 sont aussi corrélées au sable. Des études ont montré que des espèces telle que *P. tarsata* ont un large spectre de distribution (Yeo *et al.*, 2011) et pourrait donc se retrouver dans différents types de milieux, même si selon Koné (2013) sa préférence pour un type de sol n'a pas encore été vérifiée.

Une forte corrélation entre le système plein soleil et les dégâts de termites occasionnés sur les cacaoyers est observée. Les dégâts de termites sur les cacaoyers sont plus élevés dans les systèmes comportant moins d'arbres d'ombrage. Le niveau d'ombrage pourrait influencer les types de dégâts occasionnés par les termites et sur le nombre de cacaoyers ayant subi des dégâts de termites. La gestion de l'ombrage pourrait donc réduire les attaques parasitaires et ainsi améliorer le rendement (Vos *et al.*, 2003). Clough *et al.* (2011) ont montré qu'un ombrage modéré, un apport élevé de main-d'œuvre par unité de surface et une approche efficace de lutte contre les ravageurs et les maladies reposant sur un contrôle manuel et culturel sont essentiels pour augmenter les rendements tout en maintenant la production à long terme. Même si Gala Bi *et al.* (2017) estiment que dans les parcelles ombragées, la densité des arbres associés au cacao peut influencer négativement le taux de réussite des cacaoyers en provoquant leur mortalité, les attaques de termites sur les cacaoyers pourraient être liées à l'absence d'arbres dans ces parcelles. Il est probable qu'avec la présence des arbres d'ombrage, les termites en s'attaquant à ceux-ci réduisent le nombre d'attaque sur les cacaoyers. Des observations de terrain semblent prouver que l'infestation par les termites touche un nombre important d'arbres d'ombrage quelque soit le système de culture. Le système ombragé comportant plus d'arbres, les attaques de termites sur les arbres d'ombrage ont été plus observées dans ce système, et ces attaques prennent en compte aussi bien les arbres forestiers que les arbres fruitiers. Des observations similaires d'attaque de termites sur des espèces de plantes ornementales, d'arbres fruitiers et d'essences forestières ont été effectuées en Inde par Parihar (1981). Ndiaye & Han (2002) ont signalé d'importants dégâts de termites sur des arbres fruitiers dans la région de Casamance au Sénégal.

Bien que conscient des dégâts occasionnés par les termites, et qualifiés de moins important, les agriculteurs sont plutôt préoccupés par les ravages du *swollen shoot*. Une sensibilisation accompagnée d'une assistance est donc recommandée aux producteurs de cacao sur la gestion de l'ombrage et le choix d'un système de culture approprié qui permettrait de réduire les attaques de termites, de produire à long terme et de préserver la biodiversité.

Au total, 23 espèces de termites réparties en quatorze (14) genres, sept (7) sous-familles et trois (3) familles ont été recensées dans les parcelles fertilisées à la fiente de poule. Des densités de termites significativement plus faibles après la fertilisation dans le système plein soleil et dans les systèmes intermédiaires sont observées, alors que la densité est restée la même dans le système ombragé. La densité constante dans le système ombragé pourrait s'expliquer par la couverture végétale (des arbres) qui a protégée ces parcelles contre les variations d'humidité et de température du sol, et a donc fourni des conditions de sols stables adaptées à ces termites (Eggleton *et al.*, 1996, 2002). En effet le couvert végétal contribue à la litière de feuilles, aux brindilles et au bois mort, augmentant ainsi les microhabitats et les ressources disponibles, et par la suite la richesse en espèces (Davies *et al.*, 2003; Eggleton *et al.*, 1996). Ce qui expliquerait la richesse élevée en espèce dans le système ombragé.

L'analyse de l'abondance relative des groupes trophiques de termites montre que les champignonnistes et les xylophages sont dominants dans l'ensemble des systèmes de culture. Des résultats similaires ont été observés par Coulibaly *et al.* (2013, 2014) sur des cultures continues du sol et dans les vergers de manguier, dans la région voisine à Korhogo, où les groupes des champignonnistes et xylophages étaient dominant dans tous les secteurs étudiés. Par contre l'apparition des fourrageurs et des humivores après la fertilisation pourrait s'expliquer par une abondance de nourriture que constitue la matière organique contenue dans la fiente de poulet. Cette teneur élevée en matière organique du sol influencerait l'installation de certains groupes de termites en occurrence les humivores (Sarr, 1999), qui sont plus sensibles à la variation de la teneur en matière organique (Brauman *et al.*, 2000).

L'effet de la fertilisation à la fiente de poule sur la structure trophique des termites est observé sur les dégâts des termites. La fertilisation affecte la structure trophique des termites mais n'a aucun effet significatif sur les attaques de termites. La fertilisation, favorise l'apparition de deux groupes trophiques (champignonnistes et fourrageurs). La présence des champignonnistes corrobore les observations faites par Eggleton *et al.* (1997). Ces auteurs ont signifié que les zones agricoles ont des sols pauvres en matière organique qui est une composante essentielle pour le développement des colonies. L'apport de la fiente, riche en matière organique serait favorable à l'installation des champignonnistes. L'apparition des fourrageurs pourrait être liée à la matière organique contenue dans la fiente qui favoriserait le développement de Poaceae favorable à l'installation de ceux-ci. En effet, les termites fourrageurs se nourrissent essentiellement de Poaceae, qu'ils découpent en minuscules brindilles et qu'ils stockent dans leur nid (Bodot, 1967). Le matériel végétal est consommé

sans dégradation préalable par les micro-organismes. Ainsi, le développement de Graminées dans les différents milieux suite à la fertilisation a créé des milieux propices à leur développement.

L'analyse des données montre qu'il existe également une différence significative entre les attaques de termites dans les différents systèmes d'ombrage avant et après la fertilisation. Cette différence pourrait être liée aux caractéristiques de chaque système d'ombrage dont certains, de par leur constitution, pourrait favoriser les attaques de termites. Une explication plausible est que selon Ambélé *et al.* (2018) les différences de gestion de l'ombrage dans les systèmes agroforestiers de cacao ont un impact important sur la richesse et la composition en espèces des termites. Ces auteurs avaient observés des différences significatives dans la diversité des espèces en fonction des différences de pourcentage de couverture.

**CONCLUSION, RECOMMANDATIONS
ET PERSPECTIVES**

L'objectif de ce travail était d'évaluer la biodiversité des termites et des fourmis dans différents systèmes d'ombrage du cacao et de déterminer l'effet de la fiente de poule sur la dynamique des termites dans ces systèmes. Ainsi, quatre systèmes d'ombrage ont été choisis : un système sans ombrage ou système plein soleil, deux systèmes intermédiaires (le premier est proche du système sans ombrage tandis que le second est plus proche du système ombragé) et un système ombragé.

La première partie des résultats a permis de déterminer la diversité floristique dans les différents SAFc. L'étude a permis de répertorier 83 espèces d'arbres réparties en 62 genres et 32 familles. Le système ombragé est le plus diversifié. Dans ces systèmes, la famille des Moraceae est la plus dominante avec 10 espèces.

La deuxième partie a été consacrée à l'analyse de la diversité biologique des termites, des fourmis et à la détermination des possibles relations entre la faune et la flore des différents SAFc. Ainsi, au niveau des termites, 29 espèces réparties en 17 genres et 3 familles ont été collectées dans l'ensemble des systèmes de culture. Le système intermédiaire 2 est plus diversifié que les autres systèmes de culture. L'ensemble des termites collectés se répartissent dans les quatre groupes trophiques. Les champignonnistes et les xylophages étaient les plus abondants. Onze espèces de termites nuisibles ont été collectées sur les cacaoyers. Environ 41,82% des cacaoyers examinés présentaient des attaques de termites et ces termites étaient responsables des dégâts occasionnés. Les dégâts observés étaient majoritairement du type I (87,97% des dégâts observés). Les résultats obtenus montrent que le taux d'attaque des termites varie entre les systèmes de culture. Le système de culture influence de manière significative les attaques de termites. Les attaques étaient plus élevées dans les systèmes sans ombrage mais faible au niveau des systèmes intermédiaires. L'étude montre que l'association d'arbres fruitiers et d'arbres forestiers dans les cacaoyères pourrait aider à réduire les attaques de termites. Ces systèmes d'ombrage intermédiaire peuvent donc servir de compromis entre la productivité, la durabilité et la conservation de la biodiversité.

Soixante trois (63) espèces de fourmis réparties en 30 genres et 07 sous-familles ont été identifiées. Parmi ces différentes sous-familles, trois sont dominantes. Il s'agit des Formicinae, des Ponerinae et des Myrmicinae. La sous-famille des Myrmicinae est la seule dont l'abondance relative varie significativement suivant le système d'ombrage. L'étude de la biodiversité des fourmis dans les différents SAFc montre que la diversité spécifique des fourmis est plus importante dans le système intermédiaire 2 avec 51 espèces.

Les résultats montrent également que la masse moyenne d'une cabosse est fonction de la masse des fèves fraîches et ne dépendrait pas du nombre de fèves. Les résultats montrent par ailleurs un différentiel de rendement entre les cacaoyers sains et ceux infestés. Les pertes de rendement dans les différents systèmes agroforestiers seraient la conséquence de la réduction de l'activité des cacaoyers infestés par les termites.

Dans l'ensemble, l'abondance de *O. longinoda* n'est pas significativement corrélée à l'abondance des cacaoyers attaqués par les termites. Les abondances de *O. longinoda* dans les différents SAFc semblent ne pas avoir un effet significatif dans la réduction des attaques de termites. L'analyse de corrélation entre les variables environnementales et les espèces de la faune étudiée montre des corrélations à des degrés divers. Aussi note-t-on une forte corrélation entre le système plein soleil ayant moins d'arbres d'ombrages et les deux types de dégâts recensés sur les cacaoyers. Le niveau d'ombrage semble avoir un effet sur les types de dégâts occasionnés par les termites et sur le nombre de cacaoyers ayant subi des dégâts de termites.

La troisième partie de ce travail visait à évaluer l'effet de la fertilisation à la fiente de poulet sur la diversité biologique des termites dans les différents SAFc. Dans cette partie, l'échantillonnage a permis de collecter 23 espèces de termites réparties en 14 genres, 7 sous-familles et 3 familles. La richesse spécifique des termites est de 18 avant la fertilisation contre 19 espèces après la fertilisation. Les résultats montrent que la fertilisation a eu un effet négatif sur la densité des termites (baisse de la densité après fertilisation) dans tous les systèmes sauf dans le système ombragé. La fertilisation a aussi eu un effet sur la diversité des espèces dans le système intermédiaire 2 et dans le système ombragé (augmentation de la diversité spécifique après fertilisation). Par contre la fertilisation n'a eu aucun effet sur les attaques de termites mais elle affecte la structure trophique de ceux-ci.

Recommandations

Au terme de cette étude, des recommandations sont nécessaires en vue d'une cacaoculture durable. 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 des systèmes de culture agroforestière notamment les systèmes d'ombrage intermédiaire car les systèmes agroforestiers en plus de la production cacaoyère, génèrent des bénéfices financiers issus des arbres fruitiers (colatier, manguiers...) ou forestiers. Ces systèmes intermédiaires peuvent servir de compromis entre la production à long terme, la conservation de la biodiversité, les

revenus des producteurs et la réduction des dégâts occasionnés par les termites. Toutefois, la mise en place de ces systèmes nécessite leur adoption par les producteurs et un accompagnement des structures en charge de la filière cacao. La sensibilisation sur l'importance des arbres d'ombrage s'avère donc nécessaire lors de la création de nouvelles plantations ou de la régénération des parcelles. Il est également important de rendre accessible à tous, les plants d'arbres d'ombrage produits par les structures d'aide aux producteurs. Les structures de recherches doivent proposer et promouvoir des variétés de cacaoyers résistantes et adaptées à un niveau d'ombrage convenable pour éviter qu'un ombrage élevé ne favorise la pourriture brune. La sensibilisation sur la gestion de l'ombrage pourrait aider à réduire la pourriture brune des cabosses. Aux producteurs utilisant la fiente de poule comme fertilisant, l'utilisation de fiente de bonne qualité est nécessaire pour éviter l'attraction probable d'autres insectes ravageurs du cacaoyer.

Perspectives

Des avancées ont été faites pour comprendre les interactions entre la biodiversité et le fonctionnement des systèmes agroforestiers de cacao mais plusieurs pistes de recherches restent encore à explorer. Il serait donc intéressant de :

- (1) mettre au point des SAFc typiques avec un modèle d'architecture permettant de définir un nombre convenable d'arbres d'ombrage à l'hectare et y tester les options d'arbres insecticides tout en évaluant l'état de fertilité de chaque sol ;
- (2) expérimenter des parcelles selon un gradient d'âge des cacaoyers dans des systèmes de culture différents de manière à tester dans un même système de culture des cacaoyers jeunes, adultes ou vieux ;
- (3) expérimenter l'efficacité de l'introduction d'espèces de fourmis prédatrices de termites dans les cacaoyères ;
- (4) analyser la qualité et la composition de la fiente produite par les fermiers, et son effet sur les autres insectes ravageurs du cacaoyer.

REFERENCES

- Abdou M. & Ahmed M. (2015). Evaluation des effets des pesticides utilisés en lutte chimique contre le Criquet pèlerin sur les fourmis au Niger. *Journal of Applied Biosciences*, 88: 8144 - 8153.
- 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.
- Adou Yao C.Y., Kpangui K.B., Vroh B.T.A. & Ouattara D. (2016). Pratiques culturelles, valeurs d'usage et perception des paysans des espèces compagnes du cacaoyer dans des agroforêts traditionnelles au centre de la Côte d'Ivoire. *Revue d'ethnoécologie*, 9: 1-17.
- Ageroute. (2013). Travaux pour l'amélioration de l'état du réseau prioritaire de pistes, agricoles dans la région de la Nawa (Soubré et Guéyo). Rapport révisé 1, 362p.
- Agosti D. & Johnson N. (2005). Antbase. world wide web electronic publication. Disponible sur le site Antbas.org. <http://www.antbase.org>. (Consulté le 05/11/2019)
- Aguilar P., Paulin D., Keho Y., N'Kamleu G., Raillard A., Deheuvelds O., Petithuguenin P. & Gockowski J. (2003). L'évolution des vergers de cacaoyers en Côte d'Ivoire entre 1995 et 2002. *Actes de la 14^e conférence internationale sur la recherche cacaoyère*, 18-23 octobre 2003, Accra, Ghana, 1167 - 1175.
- Ahmad M. (1950). The phylogeny of termite genera based on imago-worker mandibles. *Bulletin of the American Museum of Natural History (Entomology)*, 95 (2): 36-86.
- Aké-Assi L. (1984). Flore de la Côte d'Ivoire : Etude descriptive et biogéographique avec quelques notes ethnobotaniques. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles. Faculté des Sciences et Techniques, Université Nationale, Abidjan, Côte d'Ivoire, 665 p.
- Akpesse A.A., Kouassi P., Yapi A., Lepage M., Tano Y. & Tahiri A. (2001). Influence des traitements insecticides sur les populations de termites nuisibles aux cultures de riz et de maïs en milieu de savane (Lamto et Booro-Borotou, Côte d'Ivoire). *Agronomie Africaine*, 13: 45 - 94.

- Akpesse A.A.M., Kouassi K.P., Tano Y. & Lepage M. (2008). Impact des termites dans les champs paysans de riz et de maïs en savane sub-soudanienne (Booro- Borotou, Côte d'Ivoire). *Sciences et nature*, 5 (2): 121-131.
- Akpesse A.A.M., Kiss T.A.P., Coulibaly T., Dilby Y.K.S., Kouassi K.P. & Koua H.K. (2019). Termite assemblages and infestation in rubber plantations of M'Brimbo in southern Côte d'Ivoire. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 6 (4): 21-29.
- Albala A. (2008). Présentation du secteur forestier en Côte d'Ivoire. Bulletin d'information terres des jeunes. Disponible sur le site <http://terredesjeunes.org/node/8>. (Consulté le 20/02/2020).
- Akutse K.S., Owusu E.O. & Afreh-Nuamah K. (2012). Perception of farmer's management strategies for termites control in Ghana. *Journal of Applied Biosciences*, 49: 3394 – 3405.
- Alhoniemi E., Himberg J., Parhankangas J. & Vesanto J. (2000). Som toolbox. Disponible à <http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox> (Consulté le 01/02/ 2020).
- Ambele C.F., Bisseleua D.H.B., Ekési S., Akutse K., Djuideu C.T.C.L., Meupia M. & Babalola O.O. (2018). Consequences of shade management on the taxonomic patterns and functional diversity of termites (Blattodea: Termitidae) in cocoa agroforestry systems. *Ecology Evolution*, 8 : 11582 - 11595.
- Anani Kotoklo E., Nuto Y., Tano Y., Rouland-Lefèvre C., Bordereau C. & Glitho A.I. (2008). Peuplement termitique dans les champs de cannes à sucre à Tchikplonou-Condji et à Kévé, deux localités du Sud-Togo. *Annales de l'Université de Lomé*, Tome XVII : 79 - 95.
- Anani Kotoklo E., Kasseney B.D., Nyamador W., Ketoh G.K. & Glitho A.I. (2010). Attaques des arbres par les termites sur le campus de l'Université de Lomé (Togo). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(1): 61 - 69.
- Andersen A.N. (1991). Sampling communities of ground-foraging ants: pitfall catches compared with quadrat counts in an Australian tropical savanna. *Australian Journal of Ecology*, 16: 273 - 279.

- Andersen A.N. & Patel A.D. (1994). Meat ants as dominant members of Australian ant communities: an experimental test of their influence on the foraging success and forager abundance of other species. *Oecologia* (Berlin), 98: 15 - 24.
- Ano E.J., Tahiri A., Siapo Y.M. & Diby Y.K.S. (2018). Comparative study of diversity and termite damage in the selected variety of cocoa "Mercedes or CNRA" and unselected "Tout venant" grown in Abengourou in eastern Côte d'Ivoire. *International Journal of Entomology Research*, 3(4): 27 - 35.
- Anonyme, (2008). Les polyphénols de cacao : des effets bénéfiques pour la santé cardiovasculaire. *Sciences, Nutrition, Prévention et Santé*, 16 p.
- Anonyme, (2012). Anatomie des fourmis. Dossier - Fourmi : les secrets de la fourmilière. <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/zoologie-fourmi-secrets-fourmiliere-1404/page/3/>. (Consulté le 20/01/2021).
- Arshad M.A. (1982). Influence of termites *Macrotermes michaelseni* (Sjöstedt) on soil fertility and vegetation in a semi-arid savannah ecosystem. *Agro-Ecosystem*, 8: 47 - 58.
- 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.
- Assiri A.A., Kacou E.A., Assi F.A., Ekra K.S., Dji K.F., Couloud J.Y. & Yapo A.R. (2012). Rentabilité économique des techniques de réhabilitation et de replantation des vieux vergers de cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 14: 1939 - 1951.
- Atu U.G. (1993). Cultural practices for control of termite (Isoptera) damage to yams and cassava in south-eastern Nigeria. *International Journal of Pest Management*, 39(3) : 462 - 466.
- Babacauh D.K. (1982). Rôle des communautés d'insectes et de l'eau dans la dissémination de *Phytophthora palmivora* (Butl.) Butl. emend. Bras. et Griff. dans les cacaoyères de la Côte d'Ivoire. *Café Cacao*, 26 : 31 - 36.

- 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. (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, Université Montpellier III-Paul Valéry, Montpellier, France, 202 p.
- 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.
- Bakayoko A. (1999). Comparaison de la composition floristique et de la structure forestière de parcelles de la Forêt Classée de Bossématié dans l'Est de la Côte d'Ivoire. Mémoire DEA, UFR Biosciences, Ecologie Tropicale, Université de Cocody - Abidjan, Côte d'Ivoire, 72 p.
- Banque Mondiale. (2019). Au pays du cacao: comment transformer la Côte d'Ivoire? Neuvième rapport de la banque mondiale sur la situation économique en Côte d'Ivoire. Neuvième édition, 64p.
- Barbault R. (1981). Ecologie des populations et des peuplements. Des théories aux faits. Ed. Masson, Paris (France), 200p.
- Barbosa B.C., Fagundes R., Silva L.F., Tofoli J.F.V., Santos A.M., Imai B.Y.P., Gomes G.G., Hermidoff M.M. & Ribeiro S.P. (2015). Evidences that human disturbance simplify the ant fauna associated a *Stachytarpheta glabra* Cham. (Verbenaceae) compromising the benefits of ant-plant mutualism. *Revista Brasileira De Biologia* 75(1): 58 - 68.
- Bationo A. & Buerkert A. (2001). Soil organic carbon management for sustainable land use in Sudano-Sahelian West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 61: 131 - 142.
- Bernard F. (1968). Les fourmis (Hymenoptera, Formicidae) d'Europe occidentale et septentrionale. Ed. Masson et Cie, Paris 3, Coll. « faune d'Europe et du bassin méditerranéen », 441p.

- Bernard F. (1976). Contribution à la connaissance de *Tapinoma simrothi* Krausse, fourmi la plus nuisible aux cultures du Maghreb. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*, Alger (Algérie), 67 (3-4) : 87 - 101.
- Bickel T.O. & Watanasit S. (2005). Diversity of leaf litter ant communities in Ton Nga Chang Wildlife Sanctuary and nearby rubber plantation, Songkhla, Southern Thailand. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 27 (5): 943 - 955.
- Bignell D. & Eggleton P. (2000). Termites in ecosystems. In: *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. (Abe T, Bignell D.E. & Higashi M. (eds). *Kluwer Academic Publisher*, Amsterdam: 363 - 387.
- Bisseleua D.H.B., Fotio D., Yede., Missoup A.D. & Vidal S. (2013). Shade Tree Diversity, Cocoa Pest Damage, Yield Compensating Inputs and Farmers' Net Returns in West Africa. *PLOS ONE*, 8(3): e56115.
- Black H.I.J. & Okwakol M.N.J. (1997). Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem fonction in the tropics: the role of termites. *Applied Soil Ecology*, 6: 37 - 53.
- Blondel J. (1979). *Biogéographie écologique*, Masson, Paris (France), 173 p.
- Bodot P. (1967). Étude écologique des termites des savanes de basse Côte d'Ivoire. *Insectes Sociaux*, 14(3): 229 - 258.
- Bolton B. (1973). The ant genus *Polyrhachis* F. Smith in the Ethiopian region (Hymenoptera: Formicidae). *Bulletin of the British Museum (Natural History), Entomology*, 28: 285 - 369.
- 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. (1975a). A revision of the ant genus *Leptogenys* Roger (Hymenoptera: Formicidae) in the Ethiopian region with a review of the Malagasy species. *Bulletin of the British Museum (Natural History), Entomology*, 31: 237 - 305.

- Bolton B. (1975b). A revision of the African ponerine ant genus *Psalidomyrmex* André (Hymenoptera: Formicidae). *Bulletin of the British Museum (Natural History), Entomology*, 32: 3 - 16.
- Bolton B. (1976). The ant tribe Tetramoriini (Hymenoptera: Formicidae). Constituent genera, review of smaller genera and review of *Triglyphothrix* Forel. *Bulletin of the British Museum (Natural History), Entomology*, 34: 283 - 379.
- Bolton B. (1981). A revision of the ant genera *Meranoplus* F. Smith, *Dicroaspis* Emery and *Calyptomyrmex* Emery (Hymenoptera: Formicidae) in the Ethiopian zoogeographical region. *Bulletin of the British Museum (Natural History), Entomology*, 42: 43 - 81.
- 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. (2003). Synopsis and classification of Formicidae. *Memoirs of the American Entomological Institute*, 71: 1 - 370.

- 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. & Fisher B.L. (2011). Taxonomy of Afrotropical and West Palaearctic ants of the ponerine genus *Hypoponera* Santschi (Hymenoptera: Formicidae). *Zootaxa*, 2843: 1 - 118.
- 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.
- Bond W.J. (1993). Keystones species. In: Schulze ED, Mooney HA (eds) Biodiversity and ecosystem function. *Springer, Berlin heidelberg*, 237-253.
- Bouillon A. & Mathot G. (1965). Quel est ce termite Africain ? *Zooleo n°1*. Editions de l'Université de Léopoldville, Léopoldville (Congo), 1 - 115.
- Bouillon A. & Mathot G. (1966) Quel est ce termite africain? *Zooleo N°1*, Supplément N°1. Editions Lovanium Kinshasa, 1 - 23.
- Boulier J. & Simon L. (2010). Atlas des forêts dans le monde. Protéger, développer, gérer une ressource vitale». *La revue électronique en sciences de l'environnement*. <http://journals.openedition.org/vertigo/9616>. (Consulté le 26 décembre 2020).
- Braudeau J. (1969). Le cacaoyer. Ed. G.P. Maisonneuve et Larose, Paris (France) 304 p.
- Brauman A. (2000). Effect of gut transit and mound deposit on soil organic matter transformations in the soil feeding termite: a review. *European Journal of Soil Biology*, 36: 117 - 125.
- Brauman A., Fall S. & Chotte J.L. (2000). Caractéristiques organique, physique et microbiologique du sol soumis à l'influence des termites : Étude comparative de deux espèces dominantes des sols en jachère (Haute-Casamance, Sénégal). In : La jachère en Afrique tropicale, Ch. Floret, R. Pontanier ; John Libbey Eurotext, Paris, (France), 308 - 316.

- Breznak J.A. (2000). Ecology of prokaryotic Microbes in the guts of wood-and litter feeding Termites. *In: sociality, symbiosis*, Abe T., D.E. and Bignell M. Higashi (Eds), Kluwer Academic Press, Dordrecht: 235 - 242.
- Brosse S., Giraudel J.L. & Lek S. (2001). The temporal dynamic of fish populations assemblage and community structure. *Ecological Modelling*, 146: 159 - 166.
- 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.
- Brown W. J. (1974a). *Concoctio* genus nov. (Insecta : Hymenoptera : Formicidae). *Pilot Register of Zoology*, Card N°29, 1 p.
- Brown W.J. (1974b). *Concoctio concerta* species nov. (Insecta : Hymenoptera : Formicidae). *Pilot Register of Zoology*, Card N°30: 1 - 2.
- Brown W.J. (1978). Contribution to a reclassification of the Formicidae, Part 6. Ponerinae, tribe Ponerini, subtribe Odontomachini. Section B. Genus *Anochetus* and Bibliography. *Studia Entomologica*, 20: 549 - 638.
- Brown W.L. (1973). A comparaison of the hylean and congo- west africain rain forest and fauna. *In: B.J. Meggers, ES Ayensu and W.D. Duckworth (eds). Tropical forest ecosystems in Africa and South America: a comparative review. Smithsonian institution press, Washington: 161 - 185.*
- Brune A. (2011). Microbial Symbioses in the Digestive Tract of Lower Termites. *In: Beneficial Microorganisms in Multicellular Life Forms*, E. Rosenberg and U. Gophna, (eds.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 3 - 25.
- Bruno S. (2011b). Lutte biologique et protection intégrée. PIP c/o COLEACP, Belgique: 20 - 34.
- Burle L. (1961). Le cacaoyer. (Tome premier). Maisonneuve et Larose, Paris (France), 316 p
- Burle L. (1962). Le cacaoyer. Tome deuxième. Maisonneuve et Larose, Paris (France), 486-491.

- Calatayud P.A. (2013). La lutte biologique, stratégie durable. *Pour la Science, Environnement*, 424: 42 - 46.
- 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.
- Casarin F. E., Costa-Leonardo A.M. & Arab A. (2008). Soldiers initiate foraging activities in the subterranean termite, *Heterotermes tenuis*. *Journal of Insect Science*, 8 (2): 1.
- Catangui M.A., Fuller B.W. & Walz A.W. (1996). Impact de Dimilin sur les arthropodes non ciblés et son efficacité contre les sauterelles des pâturages. Département de l'agriculture des États-Unis, service d'inspection de la santé animale et végétale. *Grasshopper Integrated Pest Management User Handbook*. Bulletin technique n° 1809. Section VII; Washington, DC, 5 p.
- CCC. (2013). Campagne de commercialisation de cacao 2012-2013/ Soubré : premier producteur de cacao en côte d'ivoire, Jeudi 17 Octobre 2013. http://www.conseilcafecacao.ci/index.php?option=com_k2&view=item&id=223 (consulté le 10/08/2020).
- CCC. (2015). Manuel technique de cacaoculture. Manuel du planteur de cacao, édition Février 2015, 166 p.
- Chardon P.A. (1981). Méthodes pratiques de dépouillement de questionnaires. Thèse de Doctorat es Sciences économiques, Université Neuchatel, France, 136 p.
- Chauvin F. (2015). L'envenimation par les fourmis. Thèse de doctorat, Faculté de Médecine et de Pharmacie, Université de Poitiers, France, 75 p.
- Chave J., Réjou-Méchain M., Búrquez A., Chidumayo E., Colgan M.S., Delitti W.B.C., Duque A., Eid T., Fearnside P.M., Goodman R.C., Henry M., Martínez-Yrizar A., Mugasha W.A., Muller - Landau H.C., Mencuccini M., Nelson B.W., Ngomanda A., Nogueira E.M., Ortiz-Malavassi E., Péliissier R., Ploton P., Ryan C.R., Saldarriaga J.G. & Vieilledent G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20: 3177 - 3190.

- Cissé M. (1991). Contribution à l'étude de l'entomofaune du maïs (*Zea mays*) et lutte contre les termites. Mémoire de DEA, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abidjan (Abidjan, Côte-d'Ivoire), 67p.
- Clough Y., Barkmann J., Juhbandt J., Kessler M., Wanger T.C., Anshary A., Buchori D., Cicuzza D., Darras K., Putra D., Erasmi S., Pitopang R., Schmidt C., Schulze C. H., Seidel, D., Steffan-Dewenter I., Stenchly K., Vidal S., Weist M., Wielgoss A. C. & Tscharrntke T. (2011). Combining high biodiversity with high yields in tropical agroforests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108 (20): 8311 - 8316.
- Colwell R.K. (2004). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 7.0, Persistent URL [purl, Oclc. Org / estimates](http://purl.oclc.org/estimates).
- Constantino R. (2002). The pest termites of South America: Taxonomy, distribution and statuts. *Journal. Applied. Entomology*, 126: 355-365.
- Coulibaly N. & N'guessan F. (1996). Entomologie. Cahier du stagiaire. IDEFOR DCC/ANADER, 76-83.
- Coulibaly T. (2014). Diversité et dégâts des termites dans les vergers de manguiers (*Mangifera indica* L., Anacardiaceae) de la région de Korhogo (Côte d'Ivoire): essai de lutte par utilisation d'extraits aqueux de trois plantes locales. Thèse de Doctorat, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 147 p.
- Coulibaly T., Boga J.P., Yapi A. & Kouassi K.P. (2013). Effects of continuous cultivation of soil on termites (Isoptera) diversity and abundance in savannas of Northern of Côte d'Ivoire. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 3: 632 - 649.
- Coulibaly T., Akpessa A., Yapi A., Zirihi G. & Kouassi K.P. (2014). Dégâts des termites dans les pépinières de manguiers du nord de la Côte d'Ivoire (Korhogo) et essai de lutte par utilisation d'extraits aqueux de plantes. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 22 (3): 3455 - 3468.
- Coulibaly T., Tra Bi C.S. & Dosso K. (2018). Diversity and damage of termites in urban zones: the case of the campus of University Péléforo Gon Coulibaly of Korhogo (Côte d'Ivoire). *International Journal of Entomology Research*, 3 (4): 44 - 50.

- Daily G.C., Ehrlich P.R. & Sanchez-Azofeifa G.A. (2001). Countryside biogeography: use of human-dominated habitats by the avifauna of southern Costa Rica. *Ecological Applications*, 11: 1-13.
- Dajoz R. (1982). Précis d'écologie. Edition Bordas, Paris (France), 503p.
- Dartigues D. (1988). Influence de la fourmi *Tapinoma simrothi* Krausse sur les pucerons de l'oranger, *Toxoptera auantii* Boyer, *Aphis cricola* Goot, et les pucerons noirs de la fève, *Aphis fabbae* Scop. *Annales de l'Institut national agronomique El Harrach*, 137p.
- Davies R.G., Eggleton P., Jones D.T., Gathorne-hardy F. J & Hernandez L. M. (2003). Evolution of termite functional diversity: analysis and synthesis of local ecological and regional influences on local species richness. *Journal of Biogeography*, 30: 847 - 77.
- De Almeida A.A. & Valle R.R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal Plant Physiology*, 19 : 425 - 448.
- Deberdt P., Mfegue C.V., Tondje P.R., Bon M.C., Ducamp M., Hurard C., Begoude B.A.D., Ndoumbe-Nkeng M., Hebbar P.K. & Cilas C. (2008). Impact of environmental factors, chemical fongicide and biological control on cocoa pod production dynamics and black pod disease (*Phytophthora megakarya*) in Cameroun. *Biological Control*, 44 : 149 - 159.
- Deheuvels O., Avelino J., Somarriba E. & Male'zieux E. (2012) Vegetation structure and productivity in cocoa-based agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Agric Ecosyst Environ* 149:181 - 188.
- Dehina N. (2009). Systématique et essaimage de quelques espèces de fourmis (Hymenoptera, Formicidae) dans deux régions de l'Algérois. Thèse Magister, institut national agronomique El-Harrach (Algerie / Issolah), 70 p.
- Delage-Darchen B. (1971). Contribution à l'étude écologique d'une savane de Côte d'Ivoire (Lamto). Les fourmis des strates herbacée et arborée. *Biologia Gabon*, 7(4): 461 - 496.
- Deligne J. (1971). Mécanique du comportement de combat chez les soldats de Termites (Insectes Isoptère). *Forma at functio*, 4: 176-187.

- Deneubourg J.L., Deneubourg S., Goss N., Franks A., Sendova-Franks C., Detrain. & Chretien L. (1991). The dynamic of collective sorting robot-like ants and ant-like robots. *1st Conference on Simulation of Adaptive Behavior: From Animals to Animats*, January 1990. *MIT Press*, p 356 - 363.
- Diomandé T. (1981). Etude du peuplement en fourmis terricoles des forêts ombrophiles climaciques et des zones anthropisées de la Côte d'Ivoire méridionale. Thèse de Doctorat d'Etat, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire, 245p.
- Djioua O. (2011). Inventaire des Formicidae dans quelques milieux forestiers et agricoles de la wilaya de Tizi-ouzo. Mémoires de Magister en sciences biologiques, Université Mouloud Mammeri, Algérie, 131p.
- Djuideu T.C.L., Bisseleua D.H.B., Kekeunou S., Meupia M.J., Difouo F.G. & Ambele C.F. (2019). Plant community composition and functional characteristics define invasion and infestation of termites in cocoa agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 17p.
- Duboisset A. (2003). L'importance agricole des termitières épiées dans le nord du Cameroun : l'exemple des nids de *Macrotermes subhyalinus* et d'*Odontotermes magdalenae*. Thèse de Doctorat, Université de Paris-Val-de Marne, 482p.
- Dufour B., Djiekpor E.K., Paulin D. & Cilas C. (1993). Méthode de criblage pour la résistance au virus du swollen shoot : Amélioration de la transmission par cochenilles. *In : Actes de la 11è conférence internationale sur la recherche cacaoyère*, du 18 au 24 juillet 1993. Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, pp : 243-244.
- Dufumier M. (2016). L'adaptation de la cacaoculture ivoirienne au dérèglement climatique: L'agroécologie pourrait-elle être une solution ? Plate-Forme pour le Commerce Equitable, 16p.
- Eggleton P. (2000). Global patterns of termite diversity. In: *Termites: Evolution, Sociality, Symbiosis, Ecology*, *In: sociality, symbiosis*, Abe T., D.E. and Bignell M. Higashi (Eds), Kluwer Academic Press, Dordrecht, 25 - 51.
- Eggleton P. (2006). The termite gut habitat: Its evolution and co-evolution : In *Intestinal microorganisms of soi! invertebrates*. König H & Varma A (eds), *Springer-Verlag*, Berlin, 370 - 403.

- Eggleton P., Bignell D. E., Sands W.A., Mawdsley, N.A., Lawton J.H., Wood T.G. & Bignell N.C. (1996). The diversity, abundance, and biomass of termites under differing levels of disturbance in the Mbalmayo Forest Reserve, southern Cameroon. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 351: 51 - 68.
- Eggleton P., Homathevi R., Jeeva D., Jones D.T., Davies R.G. & M. Maryati. (1997). The species richness and composition of termites (Isoptera) in primary and regenerating lowland dipterocarp forest in Sabah, east Malaysia. *Ecotropica*, 3 : 119 - 128.
- Eggleton P., Bignell D. E., Hauser S., Dibog L., Norgrove L. & Madong B. (2002). Termite diversity across an anthropogenic disturbance gradient in the humid forest zone of West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 90: 189 - 202.
- Emerson A.E. (1928). Termites of the Belgian Congo and the Cameroon. Bulletin of the American Museum of Natural History, *Entomology*, 95(7): 401-574.
- Emerson A.E. (1955). Geographical origin and dispersions of termite genera. *Zoology*, 37: 465 - 521.
- Engel A., Mobius T., Bonisch H., Schmidt U., Heinz R., Levin I., Atlas E., Aoki S., Nakazawa T., Sugawara S., Moore F., Hurst D., Elkins J., Schauffler S., Andrews A. & Boering K. (2009). Age of stratospheric air unchanged within uncertainties over the past 30 years. *Nature Geoscience*, 2: 28 - 31.
- Essola E.L.C. (2014). Évaluation des rendements potentiels en cacao (*Theobroma cacao* L.) dans les systèmes agroforestiers complexes en zone forestière à pluviométrie bimodale du centre Cameroun. Mémoire de diplôme d'ingénieur agronome. Université de Dschang, Ebolowa, Cameroun, 64 p.
- Evans H.C. & Prior C. (1987). Cocoa pod diseases - causal agents and control. *Outlook on Agriculture*, 16: 35 - 41.
- Falisse A. & Lambert J. (1994). Fertilisation minérale et organique. In Ta yeb amezianl: e.h: persoons e: agronomie moderne : Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. Hatier-AUPELF-UREP, Paris (France): 377 - 398

- FAO. (2005). Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture Rome, 35p.
- Fimbel R.A., Grajal A. & Robinson J.G. (2001). Logging-wildlife issues in the tropics: an overview ; *In*: Fimbel R.A, Grajal A., Robinson J.G., (Eds.), *The Cutting Edge: Conserving Wildlife in Logged Tropical Forests*. Columbia University Press, New York, 700 p.
- FIRCA (2009). Plan stratégique 2009-2014, Investir dans le futur. Edition 2009, Abidjan, Côte d'Ivoire, 44 p.
- FIRCA (2019). Vision 2015-2020 : Le FIRCA, moteur de financement pérenne et innovant pour le développement d'une agriculture durable et compétitive. Rapport annuel 2019, 86p.
- Flood J. (2006). The threat from global spread of cocoa pests and diseases: hypothetical scenario or clear and present danger. *In*: proceedings of the 15th International Cocoa Research Conference, 9-10 October 2006, San Jose, Costa Rica, pp 857 - 872.
- Floren A., Biun A. & Lisenmair K.E. (2002). Aboreal ants as key predators in lowland rainforest trees. *Oecologia*, 131 : 137-144.
- Foua-bi K. (1983). Les déprédateurs animaux des ignames en cours de végétation. *In*: Séminaire international AUPELF, Les rencontres de l'ENSA d'Abidjan, 1: 311-329.
- Francoeur A. & Jobin L. (1968). Etude préliminaire sur les formicidae (Hymenoptera) des bleuetières du lac-Saint-Jean. *In*: la recherche sur le bleuet, Rapport de travail 1967-68, Faculté d'Agriculture Université Laval, 36 - 53 p.
- Francoeur A. (1997). Ants of the yukon (Formicidae, Hymenoptera). *In*: Insects of the yukon. Biological survey of Canada (Terrestrial Arthropods), Ottawa, 1034 p.
- 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.
- Gala Bi T.J., Bohoussou N.Y., Akotto O.F. & Yao-Kouamé A. (2017). Impact des arbres associés sur l'exploitation cacaoyère dans les zones de transition forêt-savane : cas

- de M'Brimbo (centre-sud de La Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, 13: 1857 - 7881
- Gbenyedji J.N.B.K., Kasseney B.D., Nyamador W.S., Sanbena B.B., Kokutsè A.D., Kokou K. & Glitho I.A. (2016). Evaluation des attaques des termites (Isoptera, Brullé, 1832) sur quatre essences forestières d'importance économique au Togo (Afrique de l'ouest). *European Scientific Journal*, 12: 333 - 352.
- GIEC (2006). Guide pour l'inventaire national des gaz à effet de serre; agriculture, foresterie et autre usage des terres. *Institute for Global Environmental Strategies Japon*, 4: 46 - 52.
- 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.
- Gnahoua G.M., Ouallou K. & Balle P. (2012). Les légumineuses à croissance rapide comme plantes d'ombrage dans la replantation des cacaoyers en zone de forêt semi décidue de Côte d'Ivoire. INAFORESTA symposium, Cocoa based Agroforestry: Sustainability and Environment, 21-22 octobre 21012, Yaoundé, Cameroun, 35 p.
- Gösswald K. (1990). Die waldameise, Band 2. Die waldameise im oksystem wald, ihr Nutzen und ihre Hege. AULA-Verlag Gmgh. Wiesbaden, 510p.
- Grâce J. K. (2003). Approach to biological control of termites. *Sociobiology*, 41(1A): 115 - 121.
- Graham H.C., Ron R.S., Santos C.J., Schneider J.C. & Moritz C. (2004). Integrating phylogenetics and environmental niche models to explore speciation mechanisms in dendrobatid frogs. *Evolution*, 58(8): 1781 - 1793.
- Grassé P.P. (1949). Ordre des Isoptères ou termites. *In: Grassé P.P. Traité de zoologie*, Paris: Masson et Cie, 9: 408 - 544.
- Grassé P.P. (1982). Termitologia. Tome II. Anatomie, Physiologie, Reproduction des termites. Fondation Singer-Polignac, Masson, Paris (France), 676 p.
- Grassé P.P. (1984). Termitologia. Anatomie, physiologie, biologie systématique des termites. Tome II. Fondation des sociétés-Constructions, Masson, Paris (France), 613p.

- Grassé P.P. (1986). Termitologia. Tome III. Comportement, socialité, écologie, évolution, systématique. Fondation Singer-Polignac, Masson, Paris (France), 715 p.
- Gregory P.H. & Maddison A.C. (1981). Epidemiology of Phytophthora on cocoa in Nigeria. Final Report of the International Cocoa Black Pod Research Project. Phytopathological Papers, N° 25: 188 p.
- Guénard & Economo. (2015). La première carte interactive de la répartition mondiale des fourmis est lancée à Hong Kong. Rapport du 15 octobre 2015, Science de la terre, de l'univers et de l'environnement : énergie, transports, espace, environnement. <http://antmaps.org/>. (Consulté le 13/10/2020)
- Gueye N. & Lepage M. (1988). Rôle des termites dans de jeunes plantations d'Eucalyptus du Cap-Vert (Sénégal). Actes collections, *Insectes Sociaux*, 4: 345 - 352.
- Han S.H. & Ndiaye A.B. (1996). Dégâts causés par les termites (Isoptera) sur les arbres fruitiers dans la région de Dakar (Sénégal). Colloques, *Insectes Sociaux*, 10: 111 - 117.
- Han S.H. & Ndiaye A.B. (1998). L'attaque des cultures maraîchères par les termites (Isoptera) dans la région de Dakar (Sénégal). Colloques, *Insectes Sociaux*, 11: 37 - 43.
- Hanus R. Sobotnik J. & Cizek L. (2005). Egg care by termite soldiers. *Insectes Sociaux*, 52 (4):357 - 359.
- Harmand J.M. & Seghieri J. (2019). Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale. Recherche de compromis entre services d'approvisionnement et autres services écosystémiques. Éditions Quæ, Collection Update Sciences & Technologies, Versailles, France, 252 p.
- Harris W.V. (1966). The genus *Ancistrotermes* (Isoptera). *Bulletin of the British Museum (Natural History)*, (Entomology), 18(1): 1 - 20.
- Harris W.V. (1968). On the genus *Coptotermes* in Africa (Isoptera Rhinotermitidae). *Proceedings of the Royal Entomological Society of London*, 35: 161 - 171.

- Hillocks R.J., Raya M. & Thresh J.M. (1996). The association between root necrosis and above-ground symptoms of brown streak virus infection of cassava in southern Tanzania. *International Journal of Pest Management*, 42: 285 - 289.
- Hölldobler B. & Wilson E.O. (1990). The ants. *Harvard university press, Cambridge, Massachusett*, 732p.
- Holmgren N. (1910). Versuch einer Monographie der amerikanischen Eutermes arten. Vol. 27: Jahrbuch der Hamburgischen Wissenschaftlichen Anstalten, 2: 235 - 243.
- Holt J.A. (1996). Termites and tropical landscapes, Implications for sustainable production. In « Solo Suelo. XIII congreso latinoamericano de Ciencia do Solo », 4 a 8 agosto. edition CD ESALQ, Aguas de Lindora SP-Brasil: 2- 10.
- 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/internationalcocoa_agreements/cat_view/30-relateddocuments/46-statistics-production.html. (consulté le 02/09/2020)
- ICCO (2015). Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. XLI, No. 4, Cocoa year 2014/15. International Cocoa Organization (ICCO), Westgate House, London, United Kingdom. http://www.icco.org/about-us/internationalcocoa_agreements/cat_view/30-relateddocuments/46-statistics-production.html. (consulté le 02/09/2020)
- Iwaro A.D., Sreenivasan T.N. & Umaharan P. (1997). Phytophthora resistance in cacao (*Theobroma cacao*): Influence of pod morphological characteristics. *Plant Pathology*, 46 (4): 557 - 565.
- Jackson G.P. & Fox B.J. (1996). Comparison of regeneration following burning, clearing or mineral sand mining at Tomago NSW, II. Succession of ant assemblages in a coastal forest. *Australian Journal of Ecology*, 21 : 200-216.

- Jagoret P. (2011). Analyse et évaluation de systèmes agroforestiers complexes sur le long terme : Application aux systèmes de culture à base de cacaoyer au Centre Cameroun. Thèse de doctorat, SupAgro, Montpellier, France, 236 p.
- Jones C.G., Lawton J.H. & Shachak M. (1994) Organisms as ecosystem engineers, *Oikos*, 69: 373-386.
- Jones D.T. & Eggleton P. (2000). Sampling termite assemblage in tropical forest : testing a rapid biodiversity assessment protocol. *Journal of applied Ecology*, 37: 191 - 203.
- Josens G. (1972). Etudes biologiques et écologiques des termites (Isoptera) de la savane de Lamto. Thèse de doctorat de l'Université libre de Bruxelles, Belgique, 262 p.
- Jouquet P., Traoré S., Choosai C. & Hartmann C. (2011). Influence of termites on ecosystem functioning: Ecosystem services provided by termites. *European Journal of Soil Biology*, 47(4): 215 - 222.
- Kaib M. (1985). Defense strategies of termites: A review exemplified by *Schedorhinotermes lamanianus*. *EntMitteilungen der Deutschen Gesellschaft allgemeine und angewandte Entomologie*, 4: 302 - 306.
- Karhu K.J. (1998). Effects of ant exclusion during outbreaks of a defoliator and a sap-sucker on birch. *Ecology and Entomology*, 23: 185 - 194.
- Kébé B.I. (1999). Rapport Annuel d'Activité 1998, Programme Café- Cacao Cola, CNRA, Côte d'Ivoire, 39 p.
- Kébé B.I., N'goran J.A.K., Tahi G.M., Paulin D., Clément D. & Eskes A.B. (1996). Pathology and breeding for resistance to black pod in Côte d'Ivoire. *In: proceedings of the International Workshop on the Contribution of disease Resistance to cocoa Variety Improvement*, 24th- 26th November 1996, Salvador, Bahia (Brazil), pp 135-139.
- Keller L. & Genoud M. (1997). Extraordinary life spans in ants: a test of evolutionary theories of ageing. *Nature*, 389: 958 - 960.
- Kenne M., Schatz B., Durand J.L. & Dejean A. (2000). Hunting strategy of genelist and species proposed as a biological control agent against termites. *Entomologia Experimentalis Applicata*, 94: 34 - 40.

- Khoo K.C. & Ho C.T. (1992). L'influence de *Dolichoderus thoracicus* (Hymenoptera: Formicidae) sur les pertes dues à *Helopeltis theivora* (Heteroptera: Miridae), la maladie de la gousse noire et les mammifères ravageurs du cacao en Malaisie. *Bulletin de recherche entomologique*, 82: 485 - 491.
- 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.
- Konaté S. (1998). Structure et rôle des buttes termitiques dans le fonctionnement d'une savane préforestière (Lamto, Côte d'Ivoire) : Le termite champignoniste *Odontotermes* comme ingénieur de l'écosystème. Thèse de Doctorat, Université Paris VI, (France), 252 p.
- Konaté S., Yéo K., Yéboué L., Alonso L.F. & Kouassi K. (2005). Evaluation rapide de la diversité des insectes des forêts classées de la Haute Dodo et du Cavally (Côte-d'Ivoire). *RAP Bulletin of Biological Assessment*, C 1. Washington DC, 27 p.
- Konaté Z., Assiri A.A., Messoum F.G., Sekou A., Camara M. & Yao-Kouamé A. (2015). Antécédents cultureux et identification de quelques pratiques paysannes en replantation cacaoyère en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 27: 301 - 314.
- Koné M. (2013). Effets de l'intensification des modes d'utilisation des terres et du gradient d'âge de la cacaoculture sur la diversité biologique des fourmis en zones préforestière (Lamto) et forestière semi-décidue (Oumé) de Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, UFR Biosciences, Entomologie, Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 177p.
- Kouadio K.H. (2015). Diversité des communautés de fourmis des inselbergs des zones d'issia et de Yamoussoukro en Côte d'Ivoire. Mémoire de master, UFR des Sciences de la Nature, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 72 p.
- Kouadio V.P.G., Vroh B.T.A., Kpangui K.B., Kossonou A.S.F. & Adou Yao C.Y. (2018). Incidence de l'ombrage sur les caractères phénotypiques du cacaoyer en zone de

transition forêt-savane au centre de la Côte d'Ivoire. *Cahiers Agricultures*, 27: 55001.

Kouakou K., Kebe B.I., Kouassi N., Anno A.P., Aké S. & Muller E. (2011). Impact de la maladie virale du swollen shoot du cacaoyer sur la production de cacao en milieu paysan à Bazré (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 43: 2947-2957.

Kouakou L.M.M. (2010). Impact des activités humaines sur la diversité biologique des fourmis terricoles du parc national du Banco. Mémoire de maître des Sciences de la Nature, Université d'Abobo-Adjamé (Abidjan, Côte d'Ivoire), 177 p.

Kouakou L.M.M., Yéo K., Koné M., Ouattara K., Kouakou K.A., Delsinne T. & Dekoninck W. (2018). Espaces verts comme une alternative de conservation de la biodiversité en villes : le cas des fourmis (Hyménoptère : Formicidae) dans le district d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 131: 13358 - 13381.

Kouamé K.D. (2006). Structure et dynamique des populations de *Phytophthora spp.*, agents de la pourriture brune des cabosses du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) en Côte d'Ivoire. Mémoire de DEA, UFR Biosciences, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 74 p.

Kouamé N.F. (1998). Influence de l'exploitation forestière sur la végétation et la flore de la forêt classée du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse Doctorat 3e Cycle, UFR Biosciences, Université Cocody- Abidjan, Abidjan, Côte d'Ivoire, 227 p.

Kouassi D.E.O. (2014). Etude de la diversité agro-morphologique du matériel végétal utilisé par les planteurs de cacao [*Theobroma cacao* (L.), Malvaceae] de la région de la Nawa en Côte d'Ivoire. Mémoire de master de biologie et protection des végétaux, UFR des Sciences de la Nature, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 65 p.

Kouassi K. P. (1987). Etude comparative de la macrofaune endogée d'écosystèmes naturels et transformés de Côte-d'Ivoire. Thèse 3ème cycle, Faculté des Sciences et Technique, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire, 129 p.

- Koudou G.B., Wahounou P.J. & Tano Y. (2004). Evaluation des antécédents cultureux dans les plantations d'Hévéa (*Hevea brasiliensis* Mull. Arg. Euphorbiaceae) en basse Côte d'Ivoire. *Bioterre*, 4: 128 - 141.
- Kpangui K.B. (2015). Dynamique, diversité végétale et valeurs écologiques des agroforêts à base de cacaoyers de la Sous-préfecture de Kokumbo (Centre de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Ecologie Végétale, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 277p.
- Krishna K., Grimaldi D.A., Krishna V. & Engel M.S. (2013). Treatise on the isoptera of the world. *Bulletin of the american museum of natural history*, 377: 2704 p.
- Lachenaud P. (1991). Facteurs de la fructification chez le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) : influence sur le nombre de graines par fruit. Thèse de doctorat, Institut national agronomique Paris-Grignon (Paris, France), 186p.
- Lavelle P. (1987). Interactions, hiérarchies et régulations dans le sol : à la recherche d'une nouvelle approche conceptuelle. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*, 24:219-229.
- Lavelle P., Bignell D. & Lepage M. (1997) Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology*, 33: 159 - 193.
- Lee K.E. & Wood T.G. (1971). Termites and soils. *Academic press*, London, England, 251 p.
- 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.
- Lekefack J.P. (2015). Evaluation de la gestion des fientes de poules pondeuses : cas de la grande ferme du GIC AECAM de MENDONG. Mémoire de master en Science de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, Cameroun, 65 p.

- Lepage M. & Tano Y. (1990). Nest dynamics and nest building in macrotermes bellicosys (Isoptera: macrotermitinae). *In: Social Insects and the environment*, G.K. Veeresh, B. mallik & C.A. Viraktamath, eds., Bangalore, Oxford & IBH: 685-686.
- Leroux J.M. (1982). Ecologie des populations des Dorylines *Anomma nigricans*, Illiger (Hyménoptère : Formicidae) dans la région de Lamto (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat de l'Université Paris 6, France, 157 p.
- Leston D. (1973). The ant mosaic – tropical tree crops and the limiting of pest and diseases. *Pest Articles and News Summaries*, 19: 311-341.
- Lévieux J. (1971). Données écologiques et biologiques sur le peuplement en fourmis terrioles d'une savane préforestière de Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat de la Faculté des Sciences de Paris (France), 288 p.
- Logan J.W.M. & El Bakri A. (1990). Termite damage to date palms (*Phoenix dactylifera* L.) in northern Sudan with particular reference to the Dongola District. *Tropical Science*, 30: 95 - 108.
- Logan J.M.W., Cowie R.H & Wood T.G. (1990). Termites (Isoptera) control in agriculture and forestry by non chemical methods: a review, *Bulletin of Entomological Research*, 80: 309 - 330.
- Loupe D. & Zaremski A. (2016). Les termites. *In : Mardis muséum, les rendez-vous de la science*. Nantes: Mardis muséum, 05-05-2016, Nantes (France),18p.
- Lyford W.H. (1963). The importance of ants to brown podzolic soil genesis in New England. Harvard Forest Paper (Petersham, Mass.), N° 7, 18p.
- Majer D.J., Walker C.T. & Berlandier F. (1987).The role of ants in degraded soils within Dryandra state forest. *Mulga Research Centre journal*, 9: 15 - 16.
- Mc Comie L.D. & Dhanarajan G. (1993). The physical and chemical composition of mounds of *Macrotermes carbonarius* (Hagen) Termitidae, Macrotermitinae, in Penang, Malaysia. *Journal of Soil Sciences*, 44: 227-233.

- McGregor A.J. & Moxon J.E. (1985) Potential for biological control of tent building species of ants associated with *Phytophthora palmivora* pot rot of cocoa in Papua New Guinea. *Annals of Applied Biology*, 107: 271-277.
- Messner S. (1996). Untersuchungen zur Biodiversität der Myrmecofauna (Formicidae) im Parc National de Comoé (Elfenbeinküste). Diploma thesis, University of Würzburg, Germany, 92 p.
- Mitchell J.D. (2002). Termites as pests of crops, forestry, rangeland and structures in southern Africa and their control. *Sociobiology*, 40(1) : 47-69.
- Morin A. & Findlay S. (2001). Biodiversité : Tendances et processus. Biologie de la Conservation des espèces. Université d'Ottawa, Canada, 25p.
- Mossu G. (1990). Le cacaoyer. Collection Le technicien d'agriculture tropicale. Maisonneuve et Larose, Paris (France), 160 p.
- Mossu G. 1992. Cocoa. The Tropical Agriculturalist, Maisonneuve et Larose, *MacMillan Press Ltd*, Paris (France), 103 p.
- Mpika J., Kebe B.I., Issali A.E., N'guessan F.K., Druzhinina S., Komon-Zélazowska M., Kubicek C.P. & Aké S. (2009). Antagonist potential of *Trichoderma* indigenous isolates for biological control of *Phytophthora palmivora* the causative agent of black pod disease on cocoa (*Theobroma cacao* L.) in Côte d'Ivoire. *African Journal of Biotechnology*, 8(20): 5280 - 5293.
- Ndiaye A.B. (1998). Contribution à l'étude des termites ravageurs d'arbres fruitiers au Sénégal: Inventaire systématique, études écologiques et dégâts. Thèse de Doctorat de 3^{ième} Cycle, Université Cheick Anta DIOP, (Dakar, Sénégal), 101 p.
- Ndiaye A.B. & Han S.H. (2000). L'attaque des arbres fruitiers par les termites dans les vergers de Saint Louis et de Thiès (Sénégal). *Insectes Sociaux*, 13: 127-132.
- Ndiaye A.B. & Han S.H. (2002). Attaque des arbres fruitiers par les termites en Casamance (Sénégal) (Isoptera). *Bulletin de la Société Entomologique de France*, 107(2): 193-199.

- Ndiaye A.B. & Han S.H. (2006). L'attaque des arbres fruitiers par les termites dans la région de Thiès (Sénégal) (Isoptera). *Bulletin de la Société Entomologique de France*, 111(1): 59-64.
- Ndiaye A.B & Han S.H. (2007). Les termites (Isoptera) des arbres fruitiers de la région de Kaolack (Sénégal). *Bulletin de l'Institut fondamental d'Afrique noire série A*, 52(1-2) : 147-161.
- N'goran J.A.K., Lachenaud P., Kébé B.I., N'guessan K.F., Tahi G.M., Pokou D., Sounigo O., N'goran K. & Eskes A.B. (2006). Population breeding approaches applied in cocoa selection in Côte d'Ivoire. *In: Global Approaches to Cocoa Germplasm. Final report of the CFC/ICCO/IPGRI. CFC, Amsterdam, The Netherlands/ICCO, London, UK/IPGRI, Rome, Italy, 35-40.*
- N'guessan K.F., Kébé, I.B & Adiko A. (2010). Seasonal variations of the population of *Eulophonotus myrmeleon* Felder (Lepidoptera : Cossidae) in the Sud-Bandama region of Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 35: 2251 - 2259.
- 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, 15 p
- Niemela P., Haila H., Halme E., Pajunen T. & Punttila P. (1992). Small scale heterogeneity in the spatial distributions of carabid beetles in the Southern Finnish taiga. *Journal of Biogeography*, 19: 173 - 181.
- Noirot C. (1990). Sexual castes and reproductive strategies in termites. *Social Insects*, 1: 5 - 37.
- Noirot C.H. & Alliot H. (1947). La lutte contre les termites. Editions Masson et compagnie, (Paris, France), 98 p.
- Noirot C.H. & Noirot T. (1965). La glande sternale dans l'évolution des termites. *Insectes Sociaux*, 12 (3): 265 - 272.
- 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.

- Onana-Onana L.G. (2006). Pratiques de fertilisation et caractéristiques des sols en zone maraîchère périurbaine de Yaoundé : cas des bas-fonds de Nkolondom. Mémoire de fin d'étude, Université de Dschang, Cameroun, 73p.
- Ondoua J., Dibong S., Taffouo V. & Ngotta J. (2014). Parasitisme des champs semenciers de cacaoyers par les Loranthaceae dans la localité de Nkoemvone (sud Cameroun). *Elewa Journal*, 1 (1) : 8 - 10.
- Ouadfel S. (2006). Contributions à la Segmentation d'images basées sur la résolution collective par colonies de fourmis artificielles. Thèse de doctorat, Faculté des mathématiques et de l'informatique, Université de Batna, Algérie, 190 p.
- Ouattara K. (2012). Impact de la fragmentation sur les communautés de fourmis de la relique forestière de l'université Nangui Abrogoua (Côte d'Ivoire). Mémoire de master, UFR des sciences de la nature, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 60 p.
- Ouédraogo I., Hema S.O., Traoré M. & Sanon F. (2015). Diversité des termites et leur Impacts dans les champs de maïs dans deux zones agro écologiques au Burkina Faso. *Journal of Animal & Plant*, 26 (3): 4150 - 4160
- Parihar D.R. (1981). Some observations on distribution and pest status of termites attacking forestry plantations in the Rajasthan desert. *Indian Journal of Forestry*, 4: 22-25.
- 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. (2012). Anatomie des fourmis. Dossier - Fourmi : les secrets de la fourmière. <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/zoologie-fourmi-secrets-fourmiere-1404/page/3/>. (Consulté le 23/09/2020).
- Petithuguenin P. (1995). Cacaoculture et évolution du milieu : une contribution à la réflexion sur la reproductibilité de ces systèmes de cultures. *Actes du séminaire sur la Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides*, 13 au 17 novembre 1995, Montpellier, France, 340-349.

- Piguet P. (1960). Les ennemis animaux des agrumes en Afrique du Nord. Ed. *Société Schell d'Algérie*, Alger, 117 p.
- 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
- Predtetchensky S. (1935a). Données sur l'étude du Criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria* Forsk.) en Asie Centrale et en Transcaucasie (invasions de 1929 et 1930). Trudy po Zastchite Rastenii. Série I: *Entomologie*, 11: 1 - 92.
- Punntila P., Haila Y., Niemela J. & Pajunen T. (1994). Ants communities in fragments of old-growth taiga and managed surroundings. *Annales Zoologici Fennici*, 31: 131 - 144.
- Punntila P., Niemela P. & Karfu K.J. (2004). The impact of wood ants (Hymenoptera: Formicidae) on the structure of invertebrate community on mountain birch (*Betula pubescens* ssp). *Annales Zoologici Fennici*, 41: 429 - 446.
- Rajagopal D. (2002). Economically important termite species in India. *Sociobiology*, 40 (1): 33-46.
- Renoux J. (1997). Les termites et l'homme. Laboratoire EBENA, Université Paris XII Val de Marne. Paris ; 133-146.
- Reyes G., Brown S., Chapman J. & Lugo A. F. (1992). Wood densities of tropical tree species. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Gen. Tech. Rep. SO-88, New Orleans, USA, 15 p.
- Rice R & Greenberg R. (2000). Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 29: 167 - 173.
- Rollet B. (1979). La régénération naturelle en forêts dense humide sempervirente de la plaine en Guyane Vénézuélienne. *Bois et Forêts des Tropiques*, 124: 19 - 38.
- Roy-Noel J. (1966). Mise au point systématique sur les Coptotermes (Isoptera) du Sénégal. *Bulletin de l'IFAN Serie A*, 1: 145 - 155.

- Roy-Noel J (1982). L'attaque des arbres par les termites dans la presqu'île du Cap-Vert (sénégal) : Cas du reboisement sur dunes fixées de Mbao. *Bulletin de l'IFAN*, série A, 44 (1-2): 115 - 146.
- Ruelle J.E. (1970). A revision of the genus *Macrotermes* from the Ethiopian region (Isoptera). *Bulletin of the British Museum (Natural History), (Entomology)*, 24(9): 365 - 444.
- Ruf F. (1991). Les crises cacaoyères : La malédiction des âges d'or ? *Cahiers d'études africaines*, 31(121): 83 - 134.
- Ruf F. (1995). Booms et crises du cacao : les vertiges de l'or brun. Éditions *Karthala & CIRAD*, Collection Économie et développement, Paris, France, 459 p.
- Ruf F. (1999). Comment et pourquoi la Côte d'Ivoire produit durablement plus d'un million de tonnes de cacao. *Afrique Agriculture*, 268 : 21-25.
- Ruf F. (2011). Pareto en Côte d'Ivoire. Cycle du caoutchouc et concentration foncière. In: Jul-Larsen E., Laurent P.-J., Le Meur P.-Y., Léonard E., (eds). Une anthropologie entre pouvoirs et histoire. Conversations autour de l'œuvre de Jean-Pierre Chauveau. Paris, APADIRD-Karthala : 59-91.
- Ruf F. & Kiendré J. (2015). L'innovation « fiente de poulet » dans les cacaoyères. 1. Réseaux familiaux et migratoires en Côte d'Ivoire. *Inter-réseaux développement rural*, Paris, France, 14 p.
- Ruf F. & Kiendré J. (2016). L'innovation « fiente de poulet » dans les cacaoyères. 2. Révolution agro-écologique ? 1500 kg/ha en Côte d'Ivoire ? *Inter-réseaux développement rural*, Bulletin de veille n°281, 20 p.
- Ruf F., Galo A., Kouassi D. & Kiendré J. (2015). Chicken manure in the cocoa plantations of Côte d'Ivoire. An agro-ecological and social revolution, a 'frugal' village innovation. *Inter-réseaux Développement rural*, 22 April 2015, 15 p.
- Samb T., Ndiaye A.B. & Diarra K. (2011). Biodiversity of Termites in relation to human activity: impact on the environment in Matam (Senegal). *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2 (1): 313-323.

- Sands W.A. (1959). A revision of the termite of genus *Amitermes* from the Ethiopian region (Isoptera, Termitidae, Amitermitinae). *Bulletin of the British Museum (Natural History)*, (Entomology), 8(4): 129 - 156.
- Sands W.A. (1965). A revision of the termite subfamily Nasutitermitinae (Isoptera, Termitidae) from the Ethiopian region. *Bulletin of the British Museum (Natural History)*, (Entomology), Supplement 4 : 1 - 172.
- Sands W.A. (1972). The soldierless termites of Africa (Isoptera: Termitidae). *Bulletin of the British Museum (Natural History)*, (Entomology), Supplement. 18: 244 p. + Annexes.
- Sands W.A. (1973). Termites as tree and crop pests. *Pest articles news summaries*, 19: 167-177.
- Sands W.A. (1992). The termite genus *Amitermes* in Africa and the Middle East. *Natural Research Institute Bulletin* 51, Chatham, United Kingdom, 140 p.
- Sands W.A. (1998). The Identification of Worker Castes of Termite Genera from Soils of Africa and the Middle East. CAB International & Natural Resources International, Wallingford, UK, 500 p.
- Sangaré Y. & Bodot P. (1980). Données préliminaires sur la faune des termites en forêt tropicale humide (Région de Taï, sud-ouest de la Côte d'Ivoire) Inventaire, classification éthologique et biologique des genres et espèces répertoriés. *Annales de l'Université d'Abidjan*, Série E, 13 :123-141.
- Sarr M. (1999). Étude écologique des peuplements de termites dans les jachères et dans les cultures en zone soudano-sahélienne, au Sénégal. Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle de Biologie Animale. Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Dakar, Sénégal), 117 p.
- Savolainen R., Vepsäläinen K. & Wuoreninne H. (1989). Ant assemblages in the taiga biome: testing the role of territorial wood ants. *Oecologia*, 81: 481 - 486.
- Schroth G., Lehmann J., Rodrigues M.R.L., Barros E. & Macêdo J.L.V. (2004). Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. *Agroforestry Systems*, 53: 85 - 102.

- See Y.A. & Khoo K.C. (1996). Influence of *Dolichoderus thoracius* (Hymenoptera: Formicidae) on cocoa pod damage by *Canopomorpha cramerella* (Lepidoptera: Gracillariidae) in Malaysia. *Bulletin of Entomological Research*, 86: 467 – 474.
- Sjöstedt Y. (1925). Revision der Termiten Afrikas. Kungliga Svenska Vetenskapsakademien. *Akademiens Handlingar*, 3(1): 91 - 143.
- Sjöstedt Y. (1926). Revision der Termiten Afrikas, Kungl Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar, Tredjeserien band 3 (1 – 8): 415p.
- Šobotník J., Bourguignon T., Hanus R., Demianová Z., Pytelková J., Mareš M., Foltynová P., Preisler J., Cvac̣ka J., Krasulová J. & Roisin Y. (2012) Explosive Backpacks in Old Termite Workers. *Science*, 337 (6093): 436 p.
- Somarriba E. & Beer J. (2011). Productivity of *Theobroma cacao* agroforestry systems with timber or legume service shade trees. *Agroforestry Systems*, 81: 109 - 121
- Sonwa D., Weise S., Tchatat M., Nkongmeneck A.B., Adesina A., Ndoye O. & Gockowski J. (2000). Les agroforêts cacao : espace intégrant le développement de la cacaoculture, gestion et conservation des ressources forestières au Sud-Cameroun. *2ème symposium africain sur l'utilisation durable des ressources naturelles en Afrique*, 24-27 July 2000, Ouagadougou, Burkina Faso, 12 p.
- Su N.Y. (2002). Current and future trends of termite management. *Sociobiology*, 40: 1 - 2.
- Tahiri A.Y. & Mangué J.J. (2007). Stratégies d'attaques de jeunes plants d'Hévéa (*Hevea brasiliensis* Muell.) par les termites et effet comparés de deux insecticides utilisés pour leur protection en basse Côte-d'Ivoire. *Sciences & Nature*, 4(1): 45 - 55.
- Tahiri A.Y., Assi M. & Amissa A. (2010). Toxicité et mode d'action des extraits de *Carica papaya* L. (Caricaceae) sur *Macrotermes bellicosus* Rambur (Isoptera: Macrotermitinae). *Les Cahiers Agricultures*, 19(4): 267 - 272.
- Tahiri A.Y., Adima A.A., Felix A., Adje F.A. & Amusant N. (2011). Effet pesticide et screening des extraits de *Azadirachta indica* (A.) Juss. (Meliaceae) sur le termite *Macrotermes bellicosus* Rambur. *Bois et Forêts des Tropiques*, 31(4): 79 - 88.

- Tano A.M. (2012). Crise cacaoyère et stratégies des producteurs de la sous-préfecture de Méadji au Sud-Ouest ivoirien. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, (Toulouse, France), 262 p.
- Tano Y. (1993). Les termitières épigées d'un bassin versant en savane soudanienne: répartition et dynamique des nids, rôle sur les sols et les végétations. Thèse d'État ès Sciences, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 250 p.
- Ter Braak C.J.F. (1986). Canonical correspondence analysis : a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67 (5) : 1167-1179.
- Ter Braak C.J.F. & Smilauer P. (2002). Canoco 4.5 reference manual and CanoDraw for Windows. User's guide to Canoco for Windows: software for canonical community ordination. Ithaca, New York: Microcomputer Power, 500 p.
- Todem N.H. (2005). Bilan financier des systèmes de cacaoculture du Centre- Cameroun. Mémoire d'ingénieur agronome, Université de Dschang, Cameroun, 10 p.
- Torquebiau E. (2007). L'agroforesterie: des arbres et des champs. L'Harmattan, Paris, France, 151 p.
- Tra Bi C.S. (2005). Effet des types d'utilisation des terres sur la diversité des termites d'une forêt primaire semi-décidue (Oumé, Côte d'Ivoire). DEA d'Entomologie, UFR Biosciences, Université de Cocody, (Côte d'Ivoire), 50 p.
- Tra Bi C.S. (2013). Diversité spécifique et dégâts des termites dans les cacaoyères (*Theobroma cacao* L., 1753) de la région d'Oumé en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Entomologie, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 252p.
- Tra Bi CS., 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.

- Traoré S.S.H. (2012). Etude des impacts agro-pédologiques des apports continus et en rotation de fertilisants organo-minéraux sur le cotonnier en stations de recherche : cas de Sana et Farako-Bâ. Mémoire d'ingénieur du développement rural en agronomie, Université polytechnique de bobo-dioulasso, Burkina Faso, 66 p.
- Useni S.Y., Chukiyabo K.M., Tshomba K.J., Muyambo M.E., Kapalanga K.P., Ntumba N.F., Kasangij K.P., Kyungu K.A., Baboy L.L., Nyembo K.L. & Mpundu M.M. (2013). Utilisation des déchets humains recyclés pour l'augmentation de la production du maïs (*Zea mays L.*) sur un ferralsol du sud-est de la RD Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 66: 5070 - 50811
- Van Wijngaarden P.M., Van Kessel M. & Van Huis A. (2007). *Oecophylla longinoda* (Hymenoptera: Formicidae) as a biological control agent for cocoa capsids (Hemiptera: Miridae). *Proceedings of the Netherlands Entomological Society meeting*, 18: 21-30.
- Varlet F. & Kouamé G. (2013). Étude de la production de cacao en zone riveraine du Parc National de Taï. Programme de Développement Économique en Milieu Rural (PRODEMIR), GIZ, 184 p.
- Vasconcelos H.L., Vilhena J.M.S. & Caliri G.J.A. (2000). Responses of ants of selective logging of a central Amazonizn forest. *Journal of Applied Ecology*, 37: 508-514.
- Verliere G. (1981). Etude par la méthode du diagnostic foliaire de la fertilisation et de la nutrition minérale du cacaoyer (*Theobroma cacao*), *ORSTOM*, Paris, France, 256 p.
- Villiers A. (1977). L'entomologiste amateur. Ed. Lechevalier S.A.R.L., Paris, France, 248 p.
- Vos J.G.M., Ritchie I.B. & Flood J. (2003). A la découverte du cacao. Un Guide pour la formation des facilitateurs. *CABI Biosciences*, 16 p.
- Vroh B.T.A., Cissé A., Adou Yao C.Y., Kouamé D., Koffi K.J., Kpangui K.B. & Koffi B.J.C. (2015). Relations entre la diversité et la biomasse aérienne des espèces arborescentes dans les agroforêts traditionnelles à base de cacaoyers: cas de la localité de Lakota (Côte d'Ivoire). *African Crop Science Journal*, 23: 311-326.

- Vroh B.T.A., Abrou N.E.J., Goné BI Z.B. & Adou Yao C.Y. (2019). Système agroforestier à cacaoyers en Côte d'Ivoire: connaissances existantes et besoins de recherche pour une production durable. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 7 (1) : 99-109.
- Wala K., Sinsin B., Guelly K. A., Kokou K. & Akpagana K. (2005). Typologie et structure des parcs agroforestiers dans la préfecture de Doufelegou (Togo). *Sécheresse*, 16 (3) : 209 - 216.
- Wardell D. A. (1990). Les termites africains: Alliés ou ennemis? *Agroforesterie Aujourd'hui*, 3: 4-6.
- Way M.J. & Khoo K.C. (1992). Role of ants in pest management. *Annual Review of Entomology*, 37 479-503.
- WCF. (2012). Cocoa market update. Word Cocoa Foundation, March. Disponible sur le site <https://www.worldcocoafoundation.org/wp-content/uploads/>. Consulté le 20/11/2019.
- Werner P.A. & Prior L.D. (2007). Tree-piping termites and growth and survival of hosttrees in savanna woodland of north Australia. *Journal of Tropical Ecology*, 23: 611 - 622.
- Wood T.G. (1976). The role of termites (Isoptera) in decomposition processes. *In: the role of terrestrial and aquatic organisms in decomposition processes*. Eds J.M. Anderson & Macfadyen. *Blackwell, Oxford. England*: 145 - 168.
- Wood T.G. & Sands W.A. (1978). The role of termites in ecosystems. *In: Production Ecology of Ants and Termites* (M.V. Brian, Ed), London, England, 245 - 292.
- Wood T.G. & Pearce M.J. (1991). Termites in Africa: the environmental impact of control measures and damage to crops, trees, rangeland and rural buildings. *Sociobiology*, 19: 221 - 234.
- Yapi A. (1991). Biologie, Ecologie et métabolisme digestif de quelques espèces de termites humivores de savane. Thèse de Doctorat 3ème cycle, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire, 102 p.

- Yéo K. (2001). Etude de la diversité biologique des fourmis terricoles de la savane de Lamto en fonction de l'impact du feu. Mémoire de DEA, Ecologie, Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 50 p.
- Yéo K. (2006). Dynamique spatiale et diversité des fourmis de la litière et du sol dans la mosaïque forêt-savane en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Ecologie, Université Paris VI, France, 211p.
- Yéo K., Konaté S., Tiho S. & Camara S.K. (2011). Impacts of Land use systems on ant communities in a tropical forest margin (Oumé, Côte d'Ivoire). *African Journal of Agricultural Research*, 6(2): 260 - 274.
- Yéo K., Delsinne T, Konaté S., Alonso L.L., Aïdara D. & Peeters C. (2016). Diversity and distribution of ant assemblages above and below ground in a West African forest-savannah mosaic (Lamto, Côte d'Ivoire). *Insectes Sociaux*, 1(64): 155 - 168.
- Yodé D.C.V. (2015). Etude des fourmis terricoles et des termites endogés dans une savane guinéenne soumise à un régime de feu précoce (Réserve scientifique de Lamto, Côte d'Ivoire). Mémoire de master, UFR des Sciences de la Nature, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 55p.
- Youbi P.H., Kaho F., Ngoufo R., Mbolo M. & Edoa D. (2018). Evaluation du rendement de deux variétés de cacaoyers dans la Région du Centre du Cameroun. *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo*, 10 : 59-66
- Zaremski A., Fouquet D. & Louppe D. (2009). Les termites dans le monde. *Editions Quae*, Versailles, France, 93p.

ANNEXE

Annexe 1: Liste des ligneux collectés dans les différents SAFc

Espèces	Familles	SSO	SI1	SI2	SO	Nombre d'individus
<i>Albizia adianthifolia</i>	Mimosaceae	0	0	0	14	14
<i>Albizia ferruginea</i>	Mimosaceae	0	0	6	0	6
<i>Albizia sp</i>	Mimosaceae	0	0	0	1	1
<i>Albizia zygia</i>	Mimosaceae	0	0	0	2	2
<i>Alstonia boonei</i>	Apocynaceae	0	0	1	1	2
<i>Aningeria altissima</i>	Sapotaceae	0	0	2	1	3
<i>antiaris africana</i>	Moraceae	0	0	0	1	1
<i>antiaris toxicaria</i>	Moraceae	0	0	1	0	1
<i>Baphia nitida</i>	Papilionaceae	0	0	2	0	2
<i>Blighia sapida</i>	Sapindaceae	0	0	0	2	2
<i>Blighia welwitschii</i>	Sapindaceae	0	0	0	1	1
<i>Carapa procera</i>	Meliaceae	0	2	0	0	2
<i>Carica papaya</i>	Caricaceae	0	3	2	0	5
<i>Ceiba pentandra</i>	Bombacaceae	2	3	6	5	16
<i>Celtis sp</i>	Ulmaceae	0	0	0	3	3
<i>Celtis zenkeri</i>	Ulmaceae	0	1	0	0	1
<i>Citrus maxima</i>	Rutaceae	0	0	2	1	3
<i>Citrus reticulata</i>	Rutaceae	0	3	0	0	3
<i>Citrus sinensis</i>	Rutaceae	3	1	0	2	6
<i>Cocos nucifera</i>	Arecaceae	0	9	0	0	9
<i>Cola nitida</i>	Sterculiaceae	3	0	0	29	32
<i>Cordia platythyrsa</i>	Boraginaceae	0	0	0	1	1
<i>Cordia sp</i>	Boraginaceae	0	0	2	0	2
<i>Detarium senegalense</i>	Caesalpiniaceae	0	0	0	1	1
<i>Diopyros sp</i>	Ebénaceae	1	0	0	0	1
<i>Diopyros sp 1</i>	Ebénaceae	0	0	0	1	1
<i>Distemonanthus benthamianus</i>	Caesalpiniaceae	1	0	0	0	1
<i>Durio zibethinus</i>	Bombacaceae	0	1	0	2	3
<i>Elaeis guineensis</i>	Arécaceae	2	3	0	16	21
<i>Entandrophragma angolense</i>	Méliaceae	0	0	0	3	3

<i>Entandrophragma cylindricum</i>	Méliaceae	1	0	0	1	2
<i>Entandrophragma sp</i>	Méliaceae	1	0	0	0	1
<i>Entandrophragma sp 1</i>	Méliaceae	0	2	0	0	2
<i>Entandrophragma sp 2</i>	Méliaceae	0	0	1	0	1
<i>Entandrophragma utile</i>	Méliaceae	1	0	1	1	3
<i>Erythrophleum ivorense</i>	Caesalpiniaceae	1	0	5	0	6
<i>Ficus capensis</i>	Moraceae	0	0	0	1	1
<i>Ficus exasperata</i>	Moraceae	3	0	7	4	14
<i>ficus longifolia</i>	Moraceae	0	0	1	0	1
<i>ficus mucoso</i>	Moraceae	0	0	2	0	2
<i>Ficus sp</i>	Moraceae	0	0	1	0	1
<i>Funtumia elastica</i>	Apocynaceae	1	0	14	1	16
<i>Garcinia afzelii</i>	Clusiaceae	0	0	4	4	8
<i>Glyphaea brevis</i>	Tiliaceae	0	0	0	4	4
<i>Hevea brasiliensis</i>	Euphorbiaceae	0	11	1	0	12
<i>Khaya ivorensis</i>	Méliaceae	0	0	0	1	1
<i>Lannea acida</i>	Anacardiaceae	0	0	0	1	1
<i>Lophira alata</i>	Ochnaceae	0	2	0	0	2
<i>Macaranga barteri</i>	Euphorbiaceae	0	0	0	1	1
<i>Macaranga sp</i>	Euphorbiaceae	0	0	1	0	1
<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	0	8	8	4	20
<i>Mansonia altissima</i>	Sterculiaceae	0	1	0	0	1
<i>Mareya micrantha</i>	Euphorbiaceae	0	0	0	1	1
<i>Margaritaria sp</i>	Phyllanthaceae	0	0	0	1	1
<i>Milicia excelsa</i>	Moraceae	0	0	2	3	5
<i>Millettia zechiana</i>	Papilionaceae	0	0	0	4	4
<i>Morinda lucida</i>	Fabaceae	0	0	5	2	7
<i>Musanga cecropioides</i>	Moraceae	0	0	5	1	6
<i>Nauclea diderichii</i>	Rubiaceae	0	0	4	0	4
<i>Nesogordonia papaverifera</i>	Sterculiaceae	0	0	2	0	2
<i>Persea americana</i>	Lauraceae	3	7	11	6	27
<i>Picralima nitida</i>	Apocynaceae	0	1	0	0	1
<i>Piptadeniastrum africanum</i>	Mimosaceae	0	0	0	3	3

<i>pouteria aningeri</i>	Sapotaceae	0	0	1	0	1
<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	0	0	0	10	10
<i>Pycnanthus angolensis</i>	Myristicaceae	0	0	5	3	8
<i>Rauwolfia vomitoria</i>	Apocynaceae	0	0	1	3	4
<i>Ricinodendron heudelotii</i>	Euphorbiaceae	0	2	0	0	2
<i>Rinorea sp</i>	Violaceae	0	1	0	0	1
<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	0	8	6	0	14
<i>spondias mombin</i>	Anacardiaceae	0	23	2	0	25
<i>Sterculia tragacantha</i>	Sterculiaceae	0	0	3	3	6
<i>Stereospermum sp</i>	Bignoniaceae	0	0	0	1	1
<i>Tamarindus indica</i>	Fabaceae	0	0	0	2	2
<i>Terminalia ivorensis</i>	Combretaceae	0	0	2	0	2
<i>Terminalia superba</i>	Combretaceae	0	0	0	15	15
<i>Thiagemella heckellii</i>	Sapotaceae	0	0	0	3	3
<i>Treulia africana</i>	Moraceae	0	0	1	1	2
<i>Trema orientalis</i>	Ulmaceae	1	0	0	2	3
<i>Triplochiton scleroxylon</i>	Sterculiaceae	0	0	1	1	2
<i>Vernonia colorata</i>	Asteraceae	0	0	2	1	3
<i>Xylopia aethiopica</i>	Annonaceae	0	1	0	5	6
<i>Zanthoxylum zanthoxyloides</i>	Rutaceae	1	0	0	1	2
TOTAL	83	32	25	93	123	182
423						

SSO: système sans ombrage; SII: système intermédiaire 1; SI2: système intermédiaire 2; SO: système ombragé

PUBLICATIONS ISSUES DE LA THESE

Attacks and damage of termites (Insecta: Isoptera) in different cocoa agroforestry systems (Nawa, Côte d'Ivoire).

SIB Olló¹, SORO Senan², TRA BI Crolaud Sylvain².

¹ Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, UFR Environnement, Laboratoire de Biodiversité et Gestion Durable des Ecosystèmes Tropicaux, BP 150 Daloa.

² Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, UFR Agroforesterie, Laboratoire d'Amélioration des productions agricoles / Entomologie Agricole.

Corresponding author: sibollo28@yahoo.com

Key words: Cocoa trees, Termites, damage, agroforestry system.

Publication date 30/04/2020, <http://m.elewa.org/Journals/about-japs/>

1 ABSTRACT

To maintain its status of leading producer of cocoa in the world, Côte d'Ivoire must be contain the different types of threats, including the emergence of termites in cocoa farms. This study was conducted in the south-west of the country to evaluate the effect of cropping systems (full sun system, intermediate system and shaded system) on termite attacks. The study was conducted in four localities with different cocoa agroforestry systems. The sampling was made on cocoa trees in quadrats of 30mx30m and the attack rate was calculated. Eleven (11) termite species were identified. The wood-feeders groups were dominant. These termites were responsible for 41.82% of the damage on cocoa trees. Termite Attacks vary between different cropping systems. Full sun systems were most attacked comparing to intermediate shade systems that were least attacked by termites. This work shows that the shade system has an effect on termite attacks in cacao trees. The choice of right system can help to significantly reduce termite attacks in cocoa farms.

2 INTRODUCTION

Cocoa is a commercial crop of great importance around the world. With a worldwide production of more than 4 million tons of beans in 2019, cocoa has become a vital export product for many countries, especially in West Africa (Vos *et al.*, 2003, ICCO, 2019). Two-thirds of world cocoa production is grown in Africa and the majority is produced by Côte d'Ivoire and Ghana. Côte d'Ivoire supplies about 40% of the world supply of cocoa beans and has been leader producer among the 50 or so produce countries for more than 30 years (Anonymous, 2007). Cocoa cultivation occupies a key place in the economy and is a main source of income for thousands of small farmers in rural areas. Cocoa cultivation accounts 40% of

export earnings and contributes more than 15% to Gross Domestic Product (Dufumier, 2016). In the Nawa' region of the country' south-west, which is now considered as the new Ivorian cocoa loop, much agricultural exploitation supports thousands of people. This crop is now subject to high parasite pressure due to diseases and pests (Tra Bi, 2013). The most common cacao pests in Côte d'Ivoire are mirids, stem borers and brown pod rot. To this, the swollen shoot advent and the termites emergence wreak havoc in cocoa farms. In Côte d'Ivoire, there is little data on termite attacks on cocoa trees. Termite's impact is important in tropical soils evolution (Bignell and Eggleton, 2000). They influence pedogenesis, physicochemical

properties and soil functions (Su, 2002). Termites are also considered important decomposers in the semi-arid tropic areas where they are an important role in nutrient cycle (Holt, 1996). In spite of their important roles in ecosystems, termites are also known for the damage they cause. According to Wood (1976), termites are one of the largest groups of pests. About 10% of termite species have negative impacts on homes and crops (Constantino, 2002). Termite crop losses are enormous and are in the range of 20-45% (Wood and Pearce 1991). In Côte d'Ivoire, Akpesse *et al.* (2001) showed termite damage on

rice and maize crops. In cocoa farms, Tra bi *et al.* (2013) showed that termites are veritable attackers of cocoa trees in Oumé area. Termite attacks in cocoa farms are growing year by year due to massive deforestation and climate change. Given that overriding interest of cocoa farming, it is important to identify termite's pest's species in cocoa agroforestry systems and to assess the importance of termite damage in different agroforestry systems in order to develop cocoa agroforestry system allow to limit the risk of termite attacks and the development of adequate control methods.

3 MATERIAL AND METHODS

3.1 Study area: This study was conducted in four localities in the Nawa region of southwestern Côte d'Ivoire (**Figure 1**). Sixteen (16) cocoa plots were selected in the four localities at the rate of four (4) plots per locality. The Plots differ from one locality to another depending on shade intensity. In the localities of Takoragui (05° 45' 18" N, 06° 47' 30" W) and Gnaboya (06° 04' 31" N, 6° 54' 35" W), respectively the full sun system and the shaded system were selected. The localities of Petit Bouaké (05° 56' 47" N, 06° 19' 46" W) and Bobouho 1 (05° 35' 33" N, 06° 01' 53" W) are characterized by and intermediate system. Between the two cropping systems, the first is close to full sun system (Petit Bouaké) while the

second is close to shaded system (Bobouho 1). Nawa region is one of the largest areas of cocoa production in Côte d'Ivoire. It accounts for about 20% of national production of cocoa beans. This region is located in Guinean forest area and has a typical equatorial climate. The region is characterized by two rainy seasons and two dry seasons. The rainy seasons are from April to June and September to October, while the dry seasons are from November to March and July to August. The annual rainfall varies between 1600 mm and 2000 mm. the average temperature varied from 24 ° C and 27 ° C. The soils of the region are ferralitic types (Ageroute, 2013).

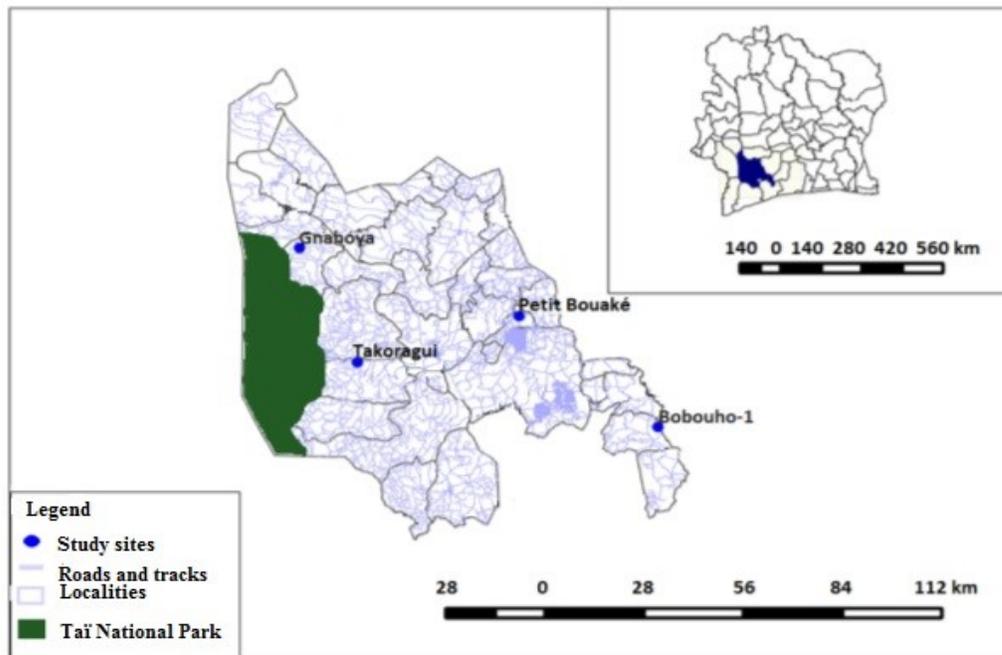


Figure 1: Localisation of the study area

3.2 Data sampling: Termites were collected on cocoa trees (young, mature and aged cocoa trees) in quadrats of 30mx30m. In each cocoa plot, four (4) quadrats of 30mx30m were installed and in each locality, four (4) plots were selected. In total, sampling was carried out in sixty-four (64) quadrats. For each sampling unit, termites were collected from roots, stems, fissures, nests, galleries and cocoa veneers. The presence of trace, veneer, gallery or termite nest on a cocoa tree was considered as an attack. All cocoa trees in the sampling area were examined to determine the proportion of these cocoa trees with termite damage.

3.3 Termite identification: Termites harvested were identified in the laboratory of biology and tropical ecology of the University Jean Lorougnon Guédé of Daloa. Specimens were determined up to the level of species using various documents such as Hamad (1950), Bouillon and Mathot (1965), Sands (1965, 1972, 1998). After identification, each species was classified into one of the trophic groups.

3.4 Data analysis: Termite attack rate is estimated based on the principle of Han and Ndiaye (1996). Organ is said to be attacked when it carries galleries or veneers with or

without termites. Termite attacks on cocoa trees have been classified into 2 groups. The classification was based on the density of the veneers and especially on the progression of termites in the anatomical structures of the plant. Thus, cocoa trees were classified into three categories: (0) absence of termites, (1) presence of tracks, nest and superficial damage (type I damage), and (2) internal damage, i.e. damage below the bark (type II damage).

Termite attack rate by locality were calculated according to the following formula:

$$Ta = Npa \times 100 / Ntp$$

Ta = Termite attack rate by locality

Npa = Number of cocoa feet with termite attacks

Ntp = Total number of cocoa feet observed by locality.

The frequencies obtained made it possible to group species into different classes based on the coding of the frequencies index (Ouedraogo *et al.*, 2015).

Data were subjected to variance (ANOVA) analysis and were compared with the Kruskal-Wallis test at 5% threshold with statistica software version 7.1.

4 RESULTS

4.1 Termite's diversity: A total of 11 termite species grouped divided into 7 genera, 4 subfamilies and 3 families were collected into cocoa plants (Table 1). Wood-feeders with 7 species are the most diversified. Three species of fungus-growers were harvested. Grass-feeders are least represented with one species. Two species are common to all localities: *Microcerotermes fuscotibialis* and *Nasutitermes arborum*. Gnaboya' locality with 6 species, records the largest number of termite species.

Wood-feeders termites were the most common group in the four localities with rates ranging from 80 to 100% of the sampled population (table 4). Fungus-growers rate was greater in the shaded system (Gnaboya) with 20% of populations sampled compared to 3.03% in full sun system (Takoragui). This group does not exist in intermediate shade systems. The last group (grass-feeders) was observed only in the intermediate shade system (Petit Bouaké) with 4.54% of the samples collected.

Table 1: List of termite species collected in cocoa trees of the different habitats

Family	Sub-family	Species	Takoragui	Petit Bouaké	Bobouho 1	Gnaboya	TG
Rhinotermitidae	Rhinotermitinae	<i>Schedorbinotermes lamanianus</i>			*		X
Termitidae	Macrotermitinae	<i>Ancistrotermes cavithorax</i>				*	C
		<i>Ancistrotermes guineensis</i>	*			*	C
		<i>Microcerotermes fuscotibialis</i>	*	*	*	*	X
		<i>Microcerotermes parvus</i>		*			X
		<i>Microtermes thoracalis</i>				*	C
	Nasutitermitinae	<i>Nasutitermes arborum</i>	*	*	*	*	X
		<i>Nasutitermes diabolus</i>	*			*	X
		<i>Nasutitermes latifrons</i>	*	*	*		X
Kalotermitidae	Kalotermitinae	<i>Trinervitermes geminatus</i>		*			F
		<i>Postelectrotermes sordwane</i>			*		x
Total		11	5	5	5	6	

C: fungus-growers; H: Soil-feeders; X: Wood-feeders; F: grass-feeders; TG: Trophic group

Table 2: Rate of the different trophic groups in the different localities (%)

Locality	Takoragui	Petit Bouaké	Bobouho 1	Gnaboya
Fungus-growers	3.03	-	-	20
Wood-feeders	96.97	95.45	100	80
Grass-feeders	-	4.54	-	-

4.2 Assessment of termite attacks on cocoa trees in different agroforestry systems: Eleven (11) species of termite collected are responsible for 41.82% damage on cocoa trees. Traces of termite activities have observed in a large number of cocoa trees in the different shade systems. Termite attacks mainly concern the roots, the stems and the branches of cocoa trees. Data analysis showed a significant difference between termite attacks in different shade systems ($p = 0.001$, Kruskal-Wallis test). Termite attacks are higher in the

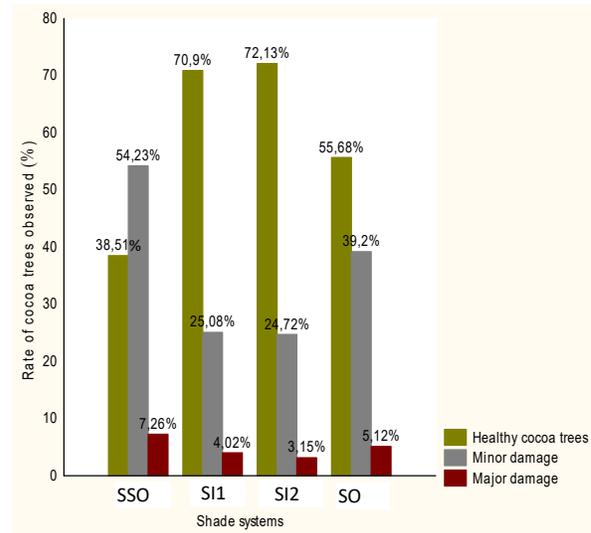
full sun system, while the intermediate systems have least attacked. In intermediate management systems, the average attack rate is 29.1% and 27.87% respectively for the localities of Petit Bouaké and Bobouho 1. However, in the full sun system, the average infestation rate was 61.49%. In shaded systems, the infestation rate was 44.32%. Two categories of damage were observed on cocoa trees (figure 2). Minor damage (T1) with 87.97% of rate on the damage observed is the largest, while Major Damage (T2) accounted for 12.03% of damage

to cocoa trees. The categories (two) of damage are higher in full sun systems (T1=54.23%; T2=7.26%) (Figure 3). The lowest rates of the two categories of damage were observed in the intermediate systems. In all cocoa trees observed, 36.79% of cocoa trees bear Type I of termite attacks while the major damage accounts for 5.03% of the cocoa trees. There was a rate of 58.18% of healthy cocoa trees. From the analysis of quantitative results, it appears that type I damage is numerically higher compared to type II damage in all localities. However, these types of attacks differ and vary according to age of the plantations and shade system type. Attack rate of the 11 species were compared across shade systems to identify the most aggressive species on cocoa trees. In all management systems, the average attack rate of the termite species is statistically identical (ANOVA, $p = 0.057$). However, the comparison of termite attacks by locality and species reveals that the species *Nasutitermes*

latifrons and *Nasutitermes diabolus* are the most aggressive species in the full sun system (figure 4). In the intermediate shade systems *Nasutitermes latifrons*, *Nasutitermes arborum* and *Microcerotermes fuscotibialis* species caused the most damage. The species *Nasutitermes diabolus*, *Nasutitermes arborum* and *Microcerotermes fuscotibialis* are the termites caused the most damage in the shaded system (table 3), termite species can be divided into four classes at Petit Bouaké; three classes in Takoragui and Gnaboya; two classes at Bobouho 1 (Table 4). Thus, at Takoragui two accessory species, one accidental species and two very rare species were sampling. The first intermediate system (Petit Bouaké) contends one quite common species, one accessory species, one accidental species and two very rare species. Three accessory species and two very rare species characterize the second intermediate system (Bobouho 1) and the shaded system in which we also find an accidental species.

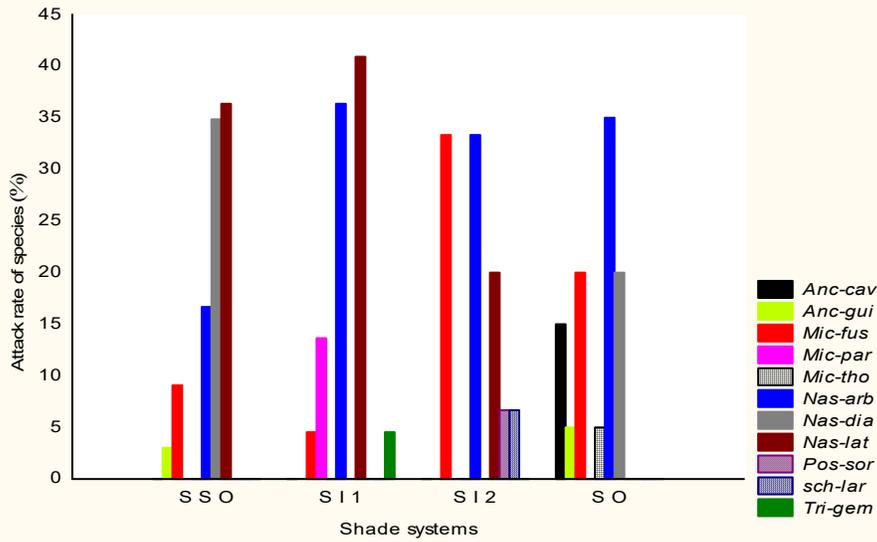


Fig. 2: Termite damage on cocoa trees (b: minor damage; a & c: major damage)



SSO : Full sun system ; SI : Intermediate system ; SO : Shaded system

Fig.3: Type of damage observed on the cocoa trees



Anc-cav : *Ancistrotermes cavibora* ; *Anc-gui* : *Ancistrotermes guineensis* ; *Mic-fus* : *Microcerotermes fuscotibialis* ; *Mic-par* : *Microcerotermes parvus* ; *Mic-tho* : *Microtermes thoracalis* ; *Nas-arb* : *Nasutitermes arborum* ; *Nas-dia* : *Nasutitermes diabolus* ; *Nas-lat* : *Nasutitermes latifrons* ; *Pos-sor* : *Postelectrotermes sordwane* ; *Sch-lar* : *Schedorhinotermes lamanianus* ; *Tri-gem* : *Trinervitermes geminatus* . ; SSO: Full sun system; SI: Intermediate system; SO: Shaded system.

Fig. 4: Attack rate according to termite's specie

Table 3: Codification of rate indexes (Ouedraogo *et al.*, 2015)

Frequency classes (%)	
F < 10	Very rare species
10 < F < 20	Accidental species
20 < F < 40	Accessory species
40 < F < 60	Quite frequent species
60 < F < 80	Frequent species
F > 80	Very frequent species

**Table 4:** Classification of species according to frequencies

Frequencies (%)	Characteristics	Full sun system (Takoragui)	Intermediate system (Petit Bouake)	Intermediate system (Bobouho 1)	Shaded system (Gnaboya)
40 < F < 60	Quite frequent species		<i>Nasutitermes latifrons</i> (40.91%)		
20 < F < 40	Accessory species	<i>Nasutitermes diabolus</i> (34.85%) <i>Nasutitermes latifrons</i> (36.36%)	<i>Nasutitermes arborum</i> (36.36%)	<i>Microcerotermes fuscotibialis</i> (33.33%) <i>Nasutitermes arborum</i> (33.33%) <i>Nasutitermes latifrons</i> (20%)	<i>Microcerotermes fuscotibialis</i> (20) <i>Nasutitermes arborum</i> (35%) <i>Nasutitermes diabolus</i> (20%)
10 < F < 20	Accidental species	<i>Nasutitermes arborum</i> (16.67%)	<i>Microcerotermes parvus</i> (13.65%)		<i>Ancistrotermes cavithorax</i> (15%)
F < 10	Very rare species	<i>Ancistrotermes guineensis</i> (3.03) <i>Microcerotermes fuscotibialis</i> (9.09)	<i>Microcerotermes fuscotibialis</i> (4.54%) <i>Trinervitermes geminatus</i> (4.54%)	<i>Postelectrotermes sordwane</i> (6.67%) <i>Schedorbinotermes lamanianus</i> (6.67%)	<i>Ancistrotermes guineensis</i> (5%) <i>Microtermes thoracalis</i> (5%)

5 DISCUSSION

Eleven (11) species of termites on cocoa trees in the four cocoa agroforestry systems were sampled. These results are similar to those obtained by Ano *et al.* (2018) and very close to the result of Tra Bi (2013) who obtained respectively 11 species and 12 species in the cocoa plantations of Abengourou for the first and Oumé for the second. Most of these species belonging to the wood-feeders and fungus-growers. These two groups of termites are responsible for the damage observed on mango trees in northern Côte d'Ivoire (Coulibaly *et al.*, 2014). No soil-feeders species were harvested from cocoa trees. The species of *Microcerotermes fuscotibialis* and *Nasutitermes arborum* are common to all localities. These species build galleries that show perforations in the bark of infested cocoa trees that often cause their death. The work in tropical Africa has shown that Macrotermitinae (Mora *et al.*, 1990, Wood and Pearce, 1991) and Nasutitermitinae (Pretorius *et al.*, 1991, Mampouya, 1997) are responsible for important plantation damage. According to the results, most of the infestations are type I (87.97% of the cocoa trees attacked). These results are in agreement with those obtained by Coulibaly *et al.* (2018) who observed higher rates of Type I termite damage on trees at the Korhogo University campus in northern Côte d'Ivoire. This high rate is due to the attack mode of different species of termites. Indeed, most termites build veneers on the trunks of plants. These veneers serve as protection to attack the plant (Gbenyedji *et al.*, 2016). The evaluation of termite attack rates showed that attacks were more common in full sun systems (61.49%),

6 CONCLUSION

This study highlights the effect of cultivation systems on termite attacks and show that termites are important pests for cocoa farming. Eleven species of termite's pests were collected from cocoa trees in different shade systems. These termites were responsible for 41.82% of

while in intermediate management systems were the least attacked. The attack rate of termites is variable according to plots and shade systems. Cocoa farmers who estimated that termite infestations increased with the growing elimination of shade trees (Djuideu *et al.* 2019) observed this state of fact. The high rate of termite attacks in full sun systems could be explained by the vulnerability of the full sun system from attack of insect pests. The plots of full sun systems in the study area are older plantations and this could have an effect on installation and termite attacks. Tra bi (2013) showed that the age of plots influence termite attacks. Anani Kotoklo *et al.* (2010b) observed that the incidence and intensity of termite attacks vary according to the species, the locality and the edaphic factors. Termite attacks can be related on nature of soil (ferrallitic red soil) that would favour the installation of termite mounds, sources of plant infestations (Gbenyedji *et al.*, 2016). The study showed that intermediate systems are the least attacked by termites, especially those close to shaded systems. Indeed, the plots of this system recorded less termite attack than the plots of other management systems. This low attack rate of termites in this intermediate system very close to the shaded system could be explained by composition and complexity of this system. Several factors, including the shade and diversity of shade trees, would also influence termite's installation in these plots. Face to the proliferation of termites in cocoa plantations, intermediate management systems could reduce the emergence of termites and limit the risk of attack.

attacks on cocoa trees. These species were classified into three trophic groups in which, Wood-feeders were the most important. The results obtained show that the type of agro system cultivation influences the termite attack.

7 ACKNOWLEDGEMENTS

The authors renew their thanks to producers and technicians of the villages of the localities studied, in particular the farmers who were kind enough to make their plantations available.

These thanks are also addressed to the different officials and village chiefs of the different localities.

8 REFERENCES

- Ageroute : 2013. Travaux pour l'amélioration de l'état du réseau prioritaire de pistes, agricoles dans la région de la Nawa (Soubré et Guéyo). Rapport révisé 1, 362p.
- Akpesse AA, Kouassi P, Yapi A, Lepage M, Tano Y. and Tahiri A : 2001. Influence des traitements insecticides sur les populations de termites nuisibles aux cultures de riz et de maïs en milieu de savane (Lamto et Booro-Borotou, Côte d'Ivoire). *Agron. Afr*, 13: 45-94.
- Anani Kotoklo E, Kasseney BD, Nyamador W, Ketoh GK. and Glitho AI: 2010. Attaques des arbres par les termites sur le campus de l'Université de Lomé (Togo). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 4(1): 61-69.
- Ano EJ, Tahiri A, Siapo YM. and Diby YKS: 2018. Comparative study of diversity and termite damage in the selected variety of cocoa "Mercedes or CNRA" and unselected "Tout venant" grown in Abengourou in eastern Côte d'Ivoire. *International Journal of Entomology Research*, 3(4): 27-35).
- Bignell D. and Eggleton P: 2000. Termites in ecosystems. *In: Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. (Abe T, Bignell D.E. & Higashi M. (eds). Kluwer Academic Publisher, Amsterdam, p. 363-387.
- Bouillon A. and Mathot G: 1965. Quel est ce termite africain ? *Zoo. Suppl.*, 1: 1-23.
- Constantino R: 2002. The pest termites of South America: Taxonomy, distribution and status. *Journal. Applied. Entomology*, 126: 355-365.
- Coulibaly T, Akpesse A, Yapi A, Zirihi G. and Kouassi KP: 2014. Dégâts des termites dans les pépinières de manguiers du nord de la Côte d'Ivoire (Korhogo) et essai de lutte par utilisation d'extraits aqueux de plantes. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 22 (3): 3455-3468.
- Djuideu TCL, Bisseleua DHB, Kekeunou S, Meupia MJ, Difouo FG. and Ambele CF: 2019. Plant community composition and functional characteristics define invasion and infestation of termites in cocoa agroforestry systems. *Agroforestry Systems*.
- Dufumier M: 2016. L'adaptation de la cacaoculture ivoirienne au dérèglement climatique : L'agroécologie pourrait-elle être une solution ? Plate-Forme pour le Commerce Equitable. 16 p.
- Gbenyedji JNBK, Kasseney BD, Nyamador WS, Sanbena BB, Kokutsè AD, Kokou K. and Glitho IA : 2016. Evaluation des attaques des termites (Isoptera, Brullé, 1832) sur quatre essences forestières d'importance économique au Togo (Afrique de l'Ouest). *European Scientific Journal* 12: 333-352.
- Hamad M: 1950. The phylogeny of termite genera based on imago-worker mandibles. *Bulletin of the American Museum of Natural History (Entomology)*, 95(2):36-86.
- Han SH. And N'Diaye A : 1996. Dégâts causés par les termites (Isoptera) sur les arbres fruitiers dans la région de Dakar (Sénégal). *Actes Coll. Insectes sociaux*, 10: 111-117.
- Holt IA : 1996. Termites and tropical landscapes, Implications for sustainable production. 2- 10. In « *Solo Suelo. XIII congresso latino americano de Ciencia do Solo* », 4 a 8 agosto. Aguas de Lindora SP-Brasil, edition CD ESALQ.

- ICCO : 2019. Rapport, résumé des prévisions et estimations révisées, Août 2019.
- Mampouya D : 1997. Les populations de termites d'une culture de canne à sucre irriguée dans un écosystème sahélien, Le fipronil dans une lutte ciblée contre les termites. Thèse d'Université, Université Paris XII- Val de Marne. 151p.
- Mora P, Rouland C, Dibangou V. and Renoux J : 1990. Damage caused by the recent infestation of the sugar cane fields by the fungus-growing termites *Pseudacanthotermes spiniger*. In Social Insects and the Environment, Veeresh GK, Mallik B, Viraktamath CA (eds). Oxford I.B.H.: New Delhi, India; 604-605.
- Pretorius MW, Van Ark H. and Mohr JD: 1991. Preliminary mound-fumigation trials for the control of *Trinervitermes trinervoides* colonies (Isoptera: Termitidae). *Phytophylac.*, 23: 89-90.
- Sands WA: 1965. A revision of the termite subfamily Nasutitermitinae (Isoptera, Termitidae) from the Ethiopian region. *Bulletin of the British Museum (Natural History)*, (Entomology), Supplement 4: 1-172.
- Sands WA: 1972. The soldierless termites of Africa (Isoptera: Termitidae). *Bulletin of the British Museum (Natural History)*, (Entomology), Supplement. 18: 244 p. + Annexes.
- Sands WA: 1998. The Identification of Worker Castes of Termite Genera from Soils of Africa and the Middle East. CAB International & Natural Resources International, Wallingford, UK, 500.
- Su NY: 2002. Current and future trends of termite management. *Sociobiology*, 40: 1-2.
- Tra Bi CS : 2013. Diversité spécifique et dégâts des termites dans les cacaoyères (*Theobroma cacao* L., 1759) de la région d'Oumé en Côte D'ivoire. Thèse de Doctorat, Université de Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire, 243 p + annexes.
- Vos JGM, Ritchie BJ et Flood J : 2003. A la découverte du cacao. *CABI Bioscience*, 16p.
- Wood TG. and Pearce MJ: 1991. Termites in Africa: the environmental impact of control measures and damage to crops, trees, rangeland and rural buildings. *Sociobiology.*, 19: 221-234.
- Wood TG: 1976. The role of termites (Isoptera) in decomposition processes. *In: the role of terrestrial and aquatic organisms in decomposition processes*. Eds J.M. Anderson & Macfadyen. Blackwell, Oxford. England. p.145-168.



E-ISSN: 2320-7078

P-ISSN: 2349-6800

www.entomoljournal.com

JEZS 2022; 10(1): 377-387

© 2022 JEZS

Received: 07-11-2021

Accepted: 09-12-2021

SIB Olo

Université Jean Lorougnon
Guédé, UFR Environnement,
Laboratoire de Biodiversité et
Ecologie Tropicale (Bio Eco
Trop), BP 150 Daloa, Côte
D'Ivoire

BISSELEUA Daghela Bertin Hervé

World Cocoa Foundation, Accra,
Ghana

SORO Senan

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

TRA BI Crolaud Sylvain

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

Corresponding Author:**SIB Olo**

Université Jean Lorougnon
Guédé, UFR Environnement,
Laboratoire de Biodiversité et
Ecologie Tropicale (Bio Eco
Trop), BP 150 Daloa, Côte
D'Ivoire

Effect of shade on the diversity of termites (Isoptera) in different cocoa agroforestry systems in the Nawa region (Côte d'Ivoire)

SIB Olo, BISSELEUA Daghela Bertin Hervé, SORO Senan and TRA BI Crolaud Sylvain

DOI: <https://doi.org/10.22271/j.ento.2022.v10.i1e.8957>

Abstract

Termites are gradually being recognized as emerging pests and a major constraint to the sustainable production of cocoa in Côte d'Ivoire, the world leading cocoa producer. In order to develop environmentally compatible management strategies against the pest species, it is important to identify the termite species in these systems and have a better understanding of their functional diversity. This study was conducted in order to evaluate the effect of shade management on the diversity of termites in different cocoa growing systems in the Nawa area, one of the main cocoa producing areas in Côte d'Ivoire. The study also evaluated the effect of shade cover on termite damage to cocoa. Sampling was done using a modified standardized transect method, where termites were collected in 25 m x 2 m transects, placed in 30 m x 30 m quadrats. Termites sampled were identified and grouped according to feeding habits. Twenty-nine (29) termite species, in 17 genera and 7 subfamilies under 3 families were sampled. These termite species are distributed among the four feeding groups. Fungus-growers and wood-feeders were the most diversified. The intermediate shade systems were the least attacked by termites compared to full sun system and shaded system. Shade therefore, seems to influence termite biodiversity and damage in cocoa agroforestry systems. We recommend awareness raising and assistance from cocoa farmers on shade management and the choice of an appropriate cropping system such as intermediate shade system that would reduce termite attacks, produce long term and preserve biodiversity.

Keywords: Shade, cocoa, termite, agroforestry system

1. Introduction

Cocoa tree (*Theobroma cocoa L.*) is a sustainable plant native from Equatorial and South America. Its main production areas, in Africa extend from Côte d'Ivoire to Cameroun. Introduced towards 1888 in Côte d'Ivoire ^[1], cocoa cultivation has known a speedy expansion at the expense of forester areas ^[2]. Cocoa represents one of the main cultures of export of the country and contributes to food security and poverty reduction of the country. Côte d'Ivoire is the cocoa leading producing country with more than 40% of the world cocoa. Unfortunately, this first place has cost much to its forest cover, from 16 million hectares in the beginning of the last century to approximately 2.5 million hectares nowadays ^[3]. The annual rate of deforestation was estimated at 3.04% between 1986 and 2000 and 2.66% between 2000 and 2015. During these periods the loss of forest covered was estimated at 2,756,412 hectares ^[4]. The main cause of forest clearing is attributable to extensive agriculture, using the slash and burn technique generating challenging and new environmental constraints. These environmental constraints are accentuated by the climate change and the emergence of new types of pests and diseases in cocoa farms and agricultural systems. Among these pests, are termites. These pests were considered minor because of the negligible damage they could cause on cocoa trees. However, their number and importance in cocoa farms have increased drastically. These insects build galleries on the cocoa tree trunk and branches leading to tree death. Termite infestation and the destruction of cocoa trees are reported by farmers as major new constraints of cocoa production in Côte d'Ivoire, particularly in the south-west region of the country. The cocoa tree is traditionally known to be grown under a diversity of shade trees. However, with the development of a new cocoa variety known as Mercedes, cocoa is generally planted in Côte d'Ivoire with very little or no shade.

This new form of land-use system over decades has resulted in the development and proliferation of emerging pests such as termites. We therefore hypothesize that termite outbreaks in cocoa farms could be associated with shade cover. We also support the scientific idea that proper shade management and land-use strategy will enhance local biodiversity and conservation biological control in agricultural systems [5].

In the present study we evaluated the effect of shade management on the diversity of termite in different cocoa systems. We also looked at the effect of shade cover on termite damage to cocoa and provided recommendations on suitable shade management and choice suitable cocoa agroforestry systems to balance production, natural biological control and biodiversity conservation.

2. Materials and methods

2.1. Study area

The study was conducted in the Nawa region of south-western

of Côte d'Ivoire (Figure1). We selected 16 cocoa plots that differed in the intensity of shade. The plots were located in Takoragui (05° 45 '18 "N, 06° 47' 30" W), where cocoa is grown under full sun; Petit Bouaké (05° 56 '47 "N, 06° 19' 46" W) and Bobouho 1 (05° 35 '33 "N, 06° 01' 53" W), where the shade level is intermediate; and Gnaboya (06° 04 '31 "N, 6° 54' 35" W), where cocoa is planted under heavy shaded systems. The Nawa region with its capital Soubré is one of the largest areas of cocoa production in Côte d'Ivoire, and represents 20% of national production of cocoa beans. This region is located in Guinean forest zone and has a typical equatorial climate with a bimodal rainfall pattern of two rainy seasons and two dry seasons. The rainy seasons usually occur from April to June and from September to October, while the dry seasons are from November to March, and from July to August. Annual precipitation varies between 1000 mm and 1800 mm, and the average temperature is between 24 °C and 36 °C. The type of soil in this region is ferrallitic [6].

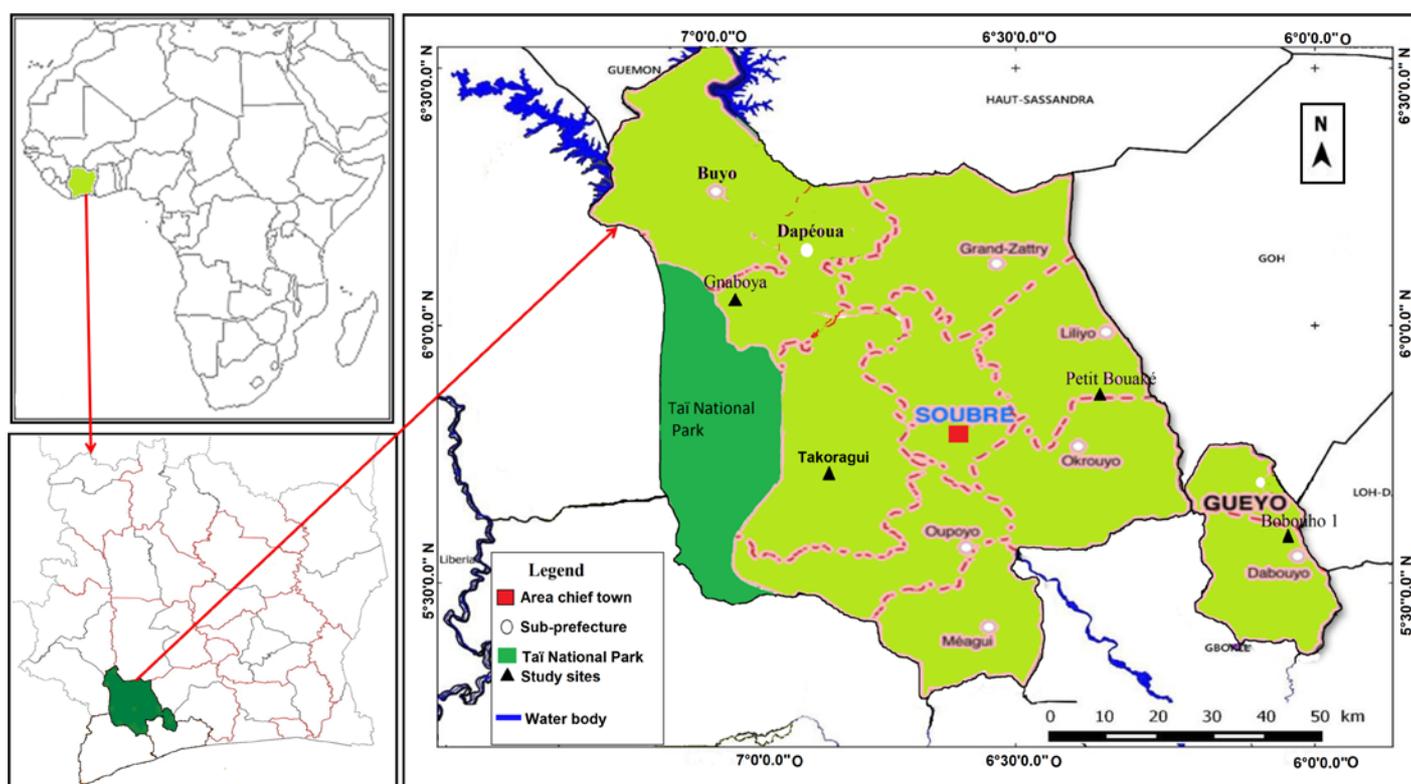


Fig 1: Localization of the study area

2.2. Data Collection

All the faunistic and floristic data were collected in 30 m x 30 m quadrats. In each cocoa plot, we installed four (4) quadrats, and in each locality four (4) plots were selected. Collections were carried out in sixty-four (64) quadrats distributed in four localities. The plots were chosen according to specific characteristics, and ranged from full sun, to intermediate and shaded systems. In Takoragui locality, the plots selected were full sun systems, while in Petit Bouaké and Bobouho 1, intermediate shaded systems were selected. However, there is a difference between the intermediate systems of these two localities where that in Petit Bouaké is closed to full sun system, while the one in Bobouho 1 is closed to shaded system. The system in the last locality (Gnaboya) is shaded system.

2.3. Floristic data collection

For the floristic data collection, all trees with a diameter at

breast height (DBH) greater than 10 cm were marked, numbered and measured individually within each of the 30 m x 30 m quadrat. So, for each tree, scientific and vernacular names were determined either in the field or in the laboratory of Jean Lorougnon Guédé University.

2.4. Termite sampling

Two approaches were adopted to evaluate the diversity and termite's activity in the cocoa farms. For the first approach, sampling was based on the standardized transect method which provides a representative sample of the taxonomic composition and composition of the functional groups of the local termite assemblage [7]. In this approach, each of the 30 m x 30 m quadrat was further divided into four transects of 25 m x 2 m (Figure 2). Each transect was subdivided into 5 sections of 5 m x 2 m. In each section, termites were sampled from leaf litter, and twelve soil monoliths (12 cm x 12 cm x 10 cm) were extracted, sieved and hand-searched. Dead wood within

each of the quadrates were also searched for termites' collection. Soldier and worker castes were collected and stored in 70% ethanol in tubes and labelled accordingly with the site, quadrat and section numbers. For the second approach, the sampling was done on cocoa plants (young, mature and old cocoa trees) in each of the 30 m x 30 m quadrat. On each cocoa tree, termites were collected on galleries, nests, trunk and branches at height of up to 2 m from the soil. The number of cocoa trees attacked by termites was also counted. The presence of termite galleries and nests on a cocoa plant was considered an attack by termites. All cocoa trees in the sampling area were examined to determine

the proportion of trees with termite damage. This served to evaluate the damages caused by termite on cocoa. A cocoa tree is said to be attacked when it carries galleries with or without termites. So cocoa trees have been classified into three categories: healthy cocoa trees, cocoa trees with superficial damage (type I damage) and cocoa trees with internal damages (major damage) which can lead to the death of the cocoa tree (type II damage). All termite specimens in all the sampling sections were collected and transported to laboratory for identification. The termite species identified were then classified into four feeding groups: fungus-growers, wood-feeders, grass-feeders and soil-feeders.

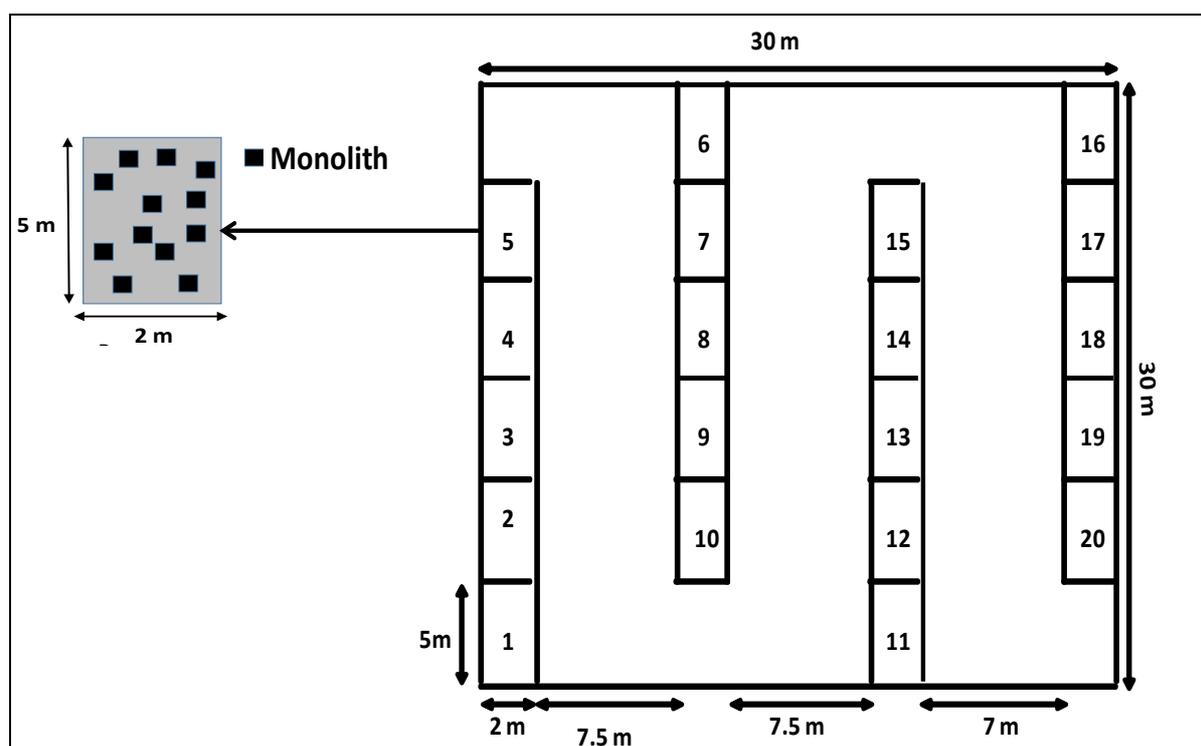


Fig 2: Termite sampling device (adapted from Jones & Eggleton, 2000)

2.5. Termite identification

Termite specimens were sorted and grouped into morpho-species. The identification was based on morphological characters on caste soldiers or workers for groups of termites lacking the soldier castes. Several keys such as [8-19] have been used for termite identification.

2.6. Data analysis

Termites are social insects and the occurrence of a single individual indicates the presence of a whole colony nearby, we used the occurrence (presence or absence data) instead of absolute number of individuals. To see how strong our estimates of species richness were, we constructed species accumulation curves after randomizing 500 times the sample in order to ensure the statistical representation of the target community [20]. We then calculated some alpha diversity index namely, Species richness (S), Shannon–Wiener index, Pielou index of equitability J for each cultivation system with Past software. The differences in species composition and abundance of termites and shade trees in agroforestry systems were analyzed using ANOVA performed using Statistica 7.1 software. When significant differences between means were noted at $P < 5\%$, we performed a Tukey post-hoc's test to compare means between cultivation systems. We used the Mann-Whitney's U pairwise test for pairwise comparison

between the forest trees and fruit trees. A factorial analysis of correspondence was realised with XLSTAT software to establish the relationship between the type of termite damage and the level of shade.

3. Results

3.1. Richness and composition of shade trees

We identified 83 shade tree species in 62 genera and 32 families in the different cocoa plots (Table 1). The most dominant families were Moraceae (10 species; or 12.05%), Meliaceae (8 species; or 9.64%), Euphorbiaceae, the Mimosaceae, Sterculiaceae and the Rubiaceae with 5 species each, or 6.02% (Figure 3). Other families were less than 5%. The number of shade trees in the shaded system (52 species), were more than those in the intermediate shaded system 2 (40 species). The same trend was observed for the genera and family richness. The species abundance varied significantly between different agroforestry systems (Anova, $F = 5.675$; $p = 0.0008$) (Figure 4). More forest trees were recorded in the different shade systems, except in the full sun systems where the number of forest tree species were equal to that of fruit tree species. Among the different shade systems, the highest rates of forest tree species with 81.15% and 61.54% respectively were recorded in the two intermediate systems. There was also a significant difference between the forest and

fruit tree species in different cocoa farming systems ($p = 0.0003$, Mann-whitney test). The most common forest trees were *Albizia adianthifolia* (Mimosaceae), *Ceiba pentandra* (Bombacaceae), *Ficus exasperate* (Moraceae) *Funtumia elastica* (Apocynaceae) *Hevea brasiliensis* (Euphorbiaceae),

Spathodea campanulata (Bignoniaceae), *Spondias mombin* (Anacardiaceae) and *Terminalia superba* (Combretaceae). We have also listed important non-timber species such as *Cocos nucifera* (Arecaceae) and *Elaeis guineensis* (Arecaceae).

Table 1: Diversity of timber trees in different shade systems

Shade system	Species Richness	Number of genera	Number of families	Fruit trees (%)	Forest trees (%)
Full sun system	15	13	11	50	50
Intermediate system 1	21	20	15	38.46	61.54
Intermediate system 2	40	33	22	18.85	81.15
Shaded system	52	47	28	40.22	59.78
Total	83	62	32	-	-

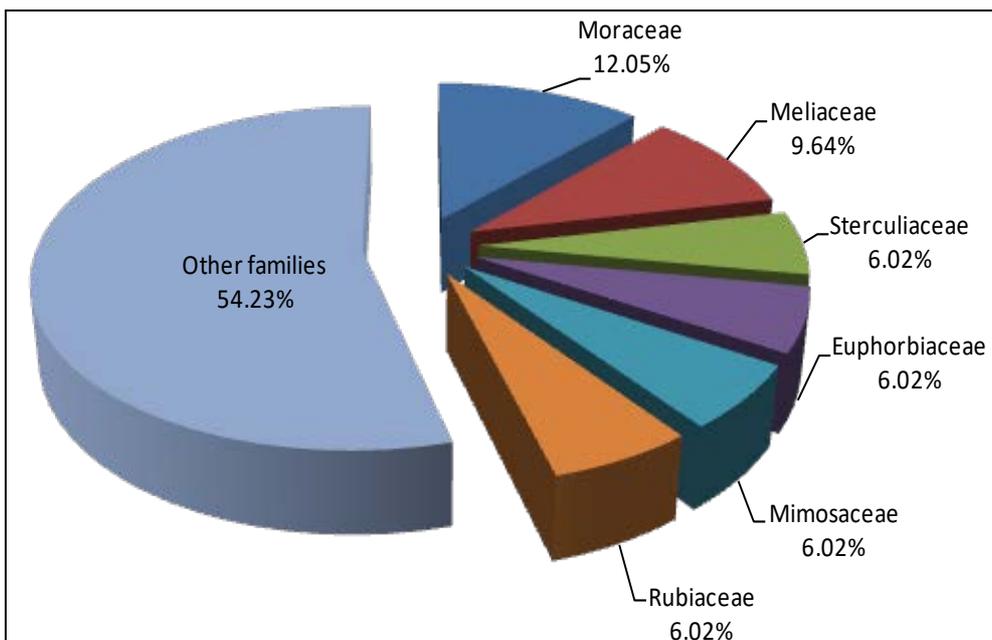


Fig 3: Most abundant families of timber trees in the different agroforestry systems

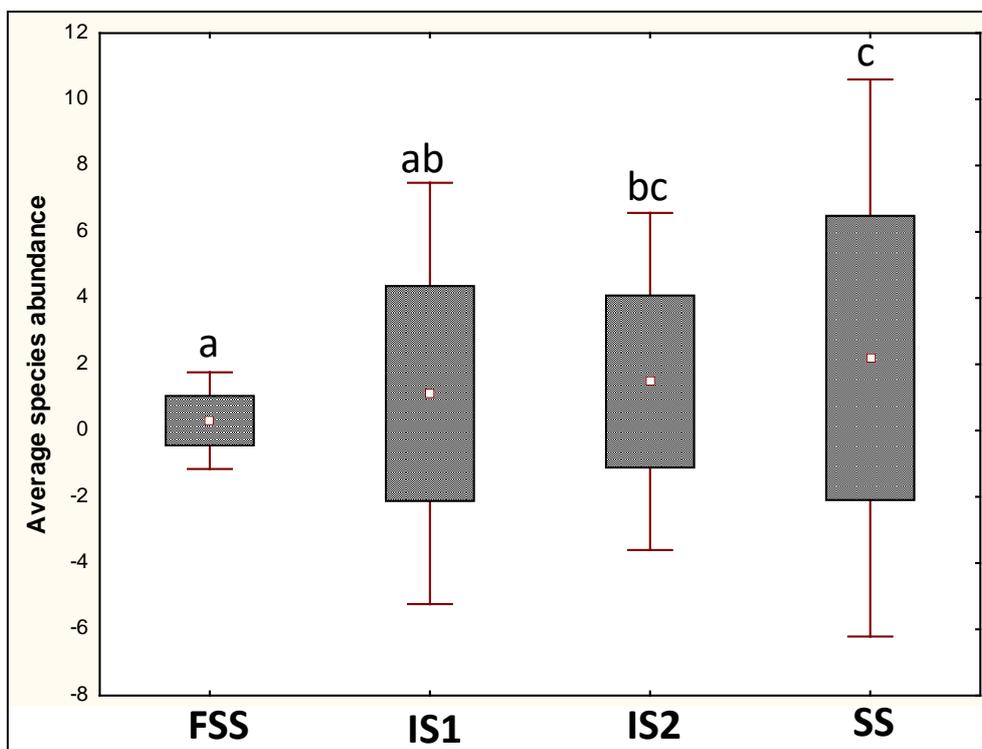


Fig 4: Average abundance of trees species. FSS: Full sun system; IS1: intermediate system 1; IS2: intermediate system 2; SS: Shaded system. Means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 threshold value based on Tukey test.

2.2. Termite's fauna

Sampling efficiency

The representativeness of a sample is closely related to the efficiency of the sampling method used. Consequently, the evaluation of this efficiency addresses one of the major concerns of community ecology. A rapprochement is observed between the accumulation curves obtained from the

Chao 2 estimator and those of the observed specific richness (Figure 5). This shows a good estimate of the specific richness of termites in the different area. Furthermore, an asymptotic trend in the curves is observed indicating that the numbers of termite species would no longer change significantly even if additional transects had been sampled.

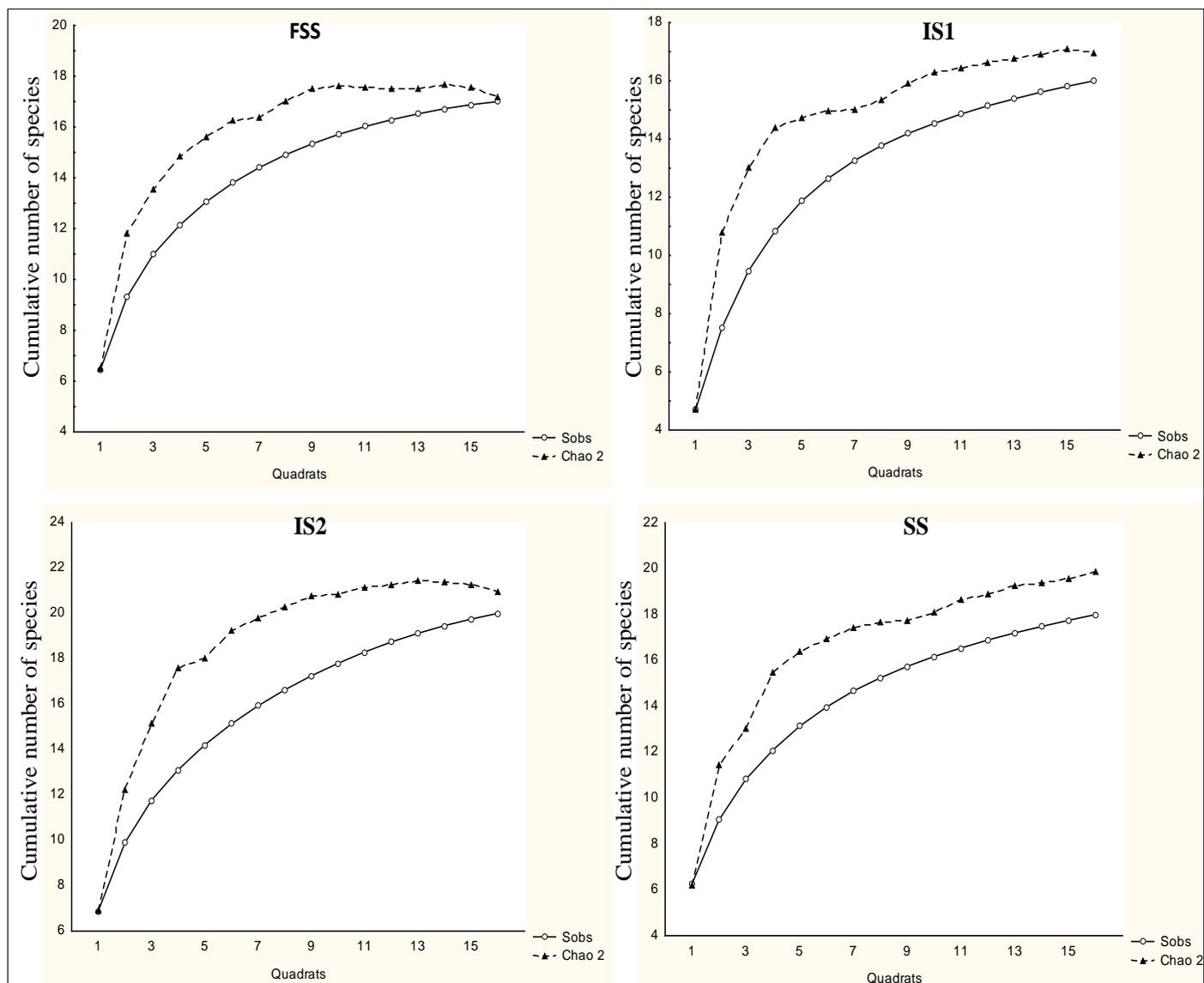


Fig 5: Sample-based accumulation curves of observed and estimated species richness in agroforestry systems. FSS: Full sun system; IS1: intermediate system 1; IS2: intermediate system 2; SS: Shaded system.

Species richness, diversity and distribution of termite's fauna

A total of 29 termite species belonging to 17 genera and 3 families were recorded in the four localities (Table 2). In all the localities, the family Rhinotermitidae comprising 2 subfamilies (Coptotermitinae and Rhinotermitinae) was dominant in terms of richness. This was followed by the family Termitidae comprising 4 subfamilies: Macrotermitinae, Termitinae, Cubitermitinae and Nasutitermitinae. The least dominant family was family Kalotermitidae comprising of only one sub-family (Kalotermitinae). *Coptotermes intermedius*, *Coptotermes sjostedti*, *Ancistrotermes cavithorax*, *Ancistrotermes guineensis*, *Macrotermes bellicosus*, *Microtermes subhyalinus*, *Nasutitermes arborum* and *Nasutitermes latifrons* were sampled in all the localities, while species such

as *Schedorhinotermes lamanianus*, *Acanthotermes acanthotharax*, *Odontotermes sp2*, *Pseudacanthotermes militaris*, *Pericapritermes urgens*, *Trinervitermes geminatus* and *Postelectrotermes sordwanae* were sampled only in one locality.

For the feeding groups, eleven (11) termite species sampled were the fungus-growing termites belonging to the Termitidae family in the subfamily Macrotermitinae. The wood-feeders included the Rhinotermitidae (subfamily Rhinotermitinae and Coptotermitinae), Termitidae (subfamily Termitinae and Nasutitermitinae), and Kalotermitidae (subfamily Kalotermitinae). Also, 11 wood-feeding species were sampled in all the localities. However, the grass-feeders consisted of a single species, belonging to the Termitidae family and Nasutitermitinae subfamily. Six (6) of the termite species sampled were soil-feeding termites belonging to the

Termitidae family. These six species are divided in two subfamilies: Termitinae and Cubitermitinae .

The Shannon index was relatively higher in the intermediate shade system 2 (H'=2.30) and shaded system (H'=2.30) while The Plots in Takoragui and Petit Bouaké localities with full

sun and intermediate systems recorded the lowest values of Shannon index (H'= 2.24 and H' = 2.15, respectively) (Table 3). The Pielou index of equitability J values were higher in the full sun system (0.79) and shaded system (0.79), than the two others localities.

Table 2: Distribution of termite species in different shade systems

Families	Sub-Families	Species	FSS	IS1	IS2	SS	FG	
Rhinotermitidae (Light, 1921)	Coptotermitinae (Holmgren, 1910)	<i>Coptotermes intermedius</i>	*	*	*	*	X	
		<i>Coptotermes sjostedti</i>	*	*	*	*	X	
	Rhinotermitinae	<i>Schedorhinotermes lamanianus</i>			*		X	
Termitidae	Macrotermitinae (Kemner, 1934)	<i>Acanthotermes acanthothorax</i>			*		C	
		<i>Ancistrotermes cavithorax</i>	*	*	*	*	C	
		<i>Ancistrotermes crucifer</i>	*	*	*	*	C	
		<i>Ancistrotermes guineensis</i>	*	*	*	*	C	
		<i>Macrotermes bellicosus</i>	*	*	*	*	C	
		<i>Macrotermes subhyalinus</i>	*		*	*	C	
		<i>Microtermes subhyalinus</i>	*	*	*	*	C	
		<i>Microtermes thoracalis</i>	*	*	*	*	C	
		<i>Odontotermes sp1</i>	*	*	*	*	C	
		<i>Odontotermes sp2</i>		*			C	
		<i>Pseudacanthotermes militaris</i>				*	C	
		Termitinae	<i>Amitermes evuncifer</i>		*	*	*	X
			<i>Microcerotermes edentatus</i>				*	X
	<i>Microcerotermes fuscotibialis</i>		*	*	*	*	X	
	<i>Microcerotermes parvus</i>			*	*	*	X	
	<i>Pericapritermes urgens</i>				*		H	
	Cubitermitinae	<i>Cubitermes fungifaber</i>	*		*		H	
		<i>Cubitermes subcrenulatus</i>	*				H	
		<i>Procubitermes fungifaber</i>		*			H	
		<i>Procubitermes sjostedti</i>	*				H	
		<i>Promirotermes orthocephs</i>			*	*	H	
	Nasutitermitinae	<i>Nasutitermes arborum</i>	*	*	*	*	X	
		<i>Nasutitermes diabolus</i>	*			*	X	
<i>Nasutitermes latifrons</i>		*	*	*	*	X		
<i>Trinervitermes geminatus</i>			*			F		
Kalotermitidae (Banks, 1919)	Kalotermitinae (Emerson, 1919)	<i>Postelectrotermes sordwanae</i>			*		X	
Total	7	29	17	17	21	18		

*: presence of the specie, C: Fungus-growers, F: Grass-feeders, H: Soil-feeders, X: Wood-feeders and FG: Feeding groups
 FSS: Full sun system; IS1: intermediate system 1; IS2: intermediate system 2; SS: Shaded system.

Table 3: Diversity of termite in cocoa agroforestry systems

Diversity indexes	Full sun system	Intermediate system 1	Intermediate system 2	Shade system
Species richness (S)	17	17	21	18
Shannon (H')	2.24	2.15	2.30	2.30
Equitability -J	0.79	0.76	0.76	0.79

Abundance of feeding groups of litter termites

The termites collected from the soil were divided into three trophic groups. These are fungus-growers, wood-feeders and soil-feeders. No grass-feeder species was collected from the soil. The fungus-growers and wood-feeders were dominant in all the shade systems (Figure 6). In the full sun system, wood-feeders (52.82%) had the highest relative abundance, followed by fungus-growers (41.28%). On other, in the

intermediate and shaded systems, the fungus-growers were dominant with proportions going up to more 72% in the second intermediate system. We recorded the lowest numbers of wood-feeders in the second intermediate system. The soil-feeders were the least abundant trophic group in all the shade systems but with a higher number sampled in the full sun system.

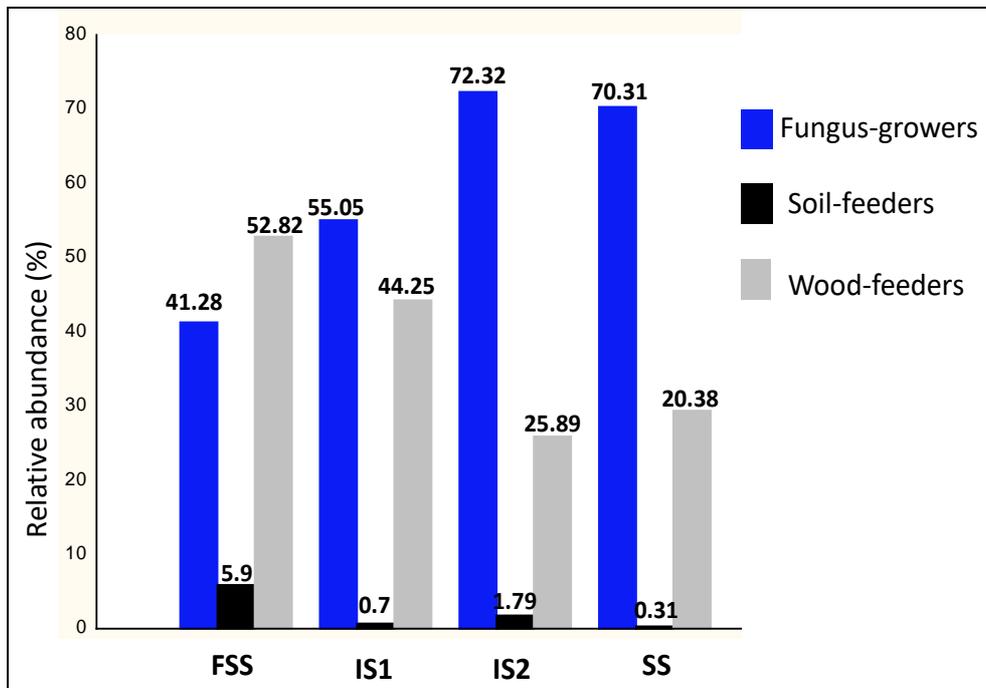


Fig 6: Relative abundance of termites feeding groups. FSS: Full sun system; IS1: intermediate system 1; IS2: intermediate system 2; SS: Shaded system

Attacks and damage of termite pests in cocoa plantations

The study of average relative abundance of cocoa trees attacked in the four shade systems shows a significant variation in the relative abundance of attacks (Anova, $p = 0.001$) (Figure 7). The average relative abundance of cocoa trees attacked was higher in full sun system while the intermediate systems recorded the lowest relative abundance. A significant difference was observed between the relative abundance obtained in shaded system and the other systems. However, no difference was observed between the relative abundances of cocoa trees attacked in the two intermediate systems.

The quantitative analysis of termite attacks on cocoa trees

revealed that out of a total of 6045 cocoa plants examined, 41.82% presented termite attacks. In the intermediate systems, the average attack rates are 29.1% (Intermediate system 1) and 27.87% (Intermediate system 2). In the full sun system (Takoragui), the average rate of infestation was 61.49%. Termite infestations in this locality were more comparing to others localities. Moreover, the two categories of infestation were higher in the full sun system compared to the other shade systems (Table 4). From the analysis of quantitative results, types I damage were higher than type II damage in all the localities. There is a significant difference between the types of damage in each shade system.

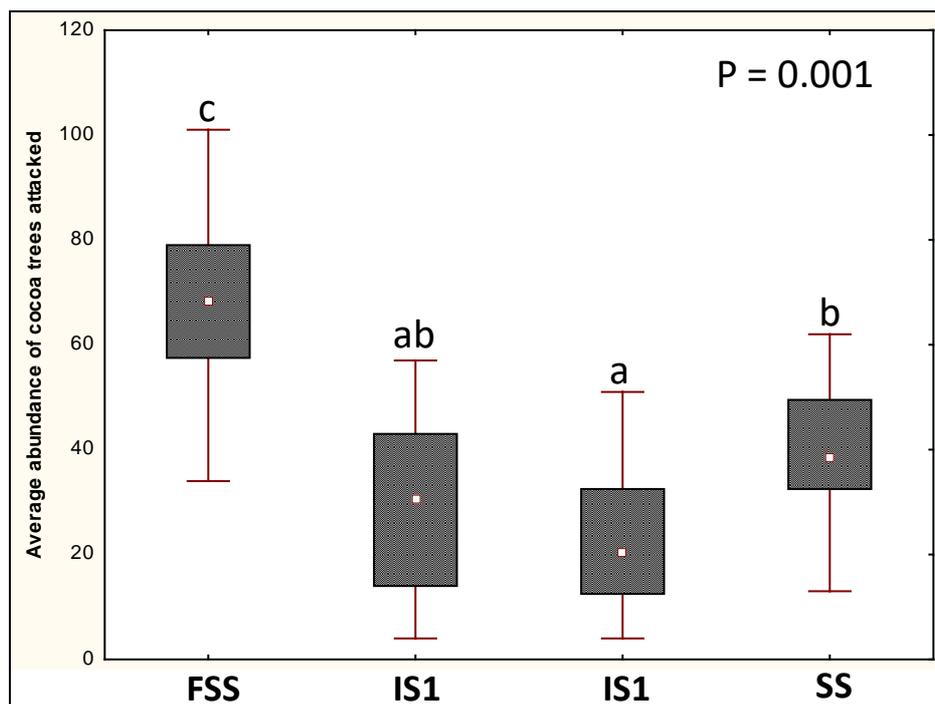


Fig 7: Average abundance of cocoa trees attacked (cocoa trees / quadrat). FSS: Full sun system; IS1: intermediate system 1; IS2: intermediate system 2;

SS: Shaded system. Means followed by the same letter are not significantly different at 0.05 threshold value based on Tukey test.

Table 4: Attack of cocoa trees according to damage types

Shade systems	Mean			P value
	Healthy cocoa trees	Minor damage	Major damage	
Full sun system	42.44±15.81	59.75±18.95	8.0±3.16	<0.0001
Intermediate system 1	68.38±22.83	24.19±14.43	3.88±3.1	<0.0001
Intermediate system 2	60.00±18.5	20.56±12.33	2.62±1.5	<0.0001
Shaded system	49.0±26.22	34.5±12.52	4.5±1.59	<0.0001

Relationship between shade level and termite damage

The correspondence analysis based on termite attacks abundance and the type of damage shows the relationships between shade level and termites damage. The axes (F1 and F2) extract 100% of the total inertia, expressing all of information on distribution of the variables studied (Figure 8). The eigenvalue of axis 1 is very high (99.8%) indicating a good diagonalization of data and a significant relationship between the variables studied. Axis 1 opposes the two intermediate systems with the shaded and full sun systems. It also opposes, on the same side, healthy cocoa trees and the two types of damage (minor damage and major damage). Axis

2 highlights the opposition between the first and second intermediate system. It also opposes the two types of damage. The classification resulting from the correspondences analysis allows having two large groups. The first group reveals a strong correlation between the intermediate systems and the number of healthy cocoa trees. In the second group, the correlation is high between the full sun system with fewer shade trees and the two types of damage recorded on cocoa trees. The shade level (number of shade trees) appears to have an effect on the types of termite damage and the number of cocoa trees that suffered termite damage.

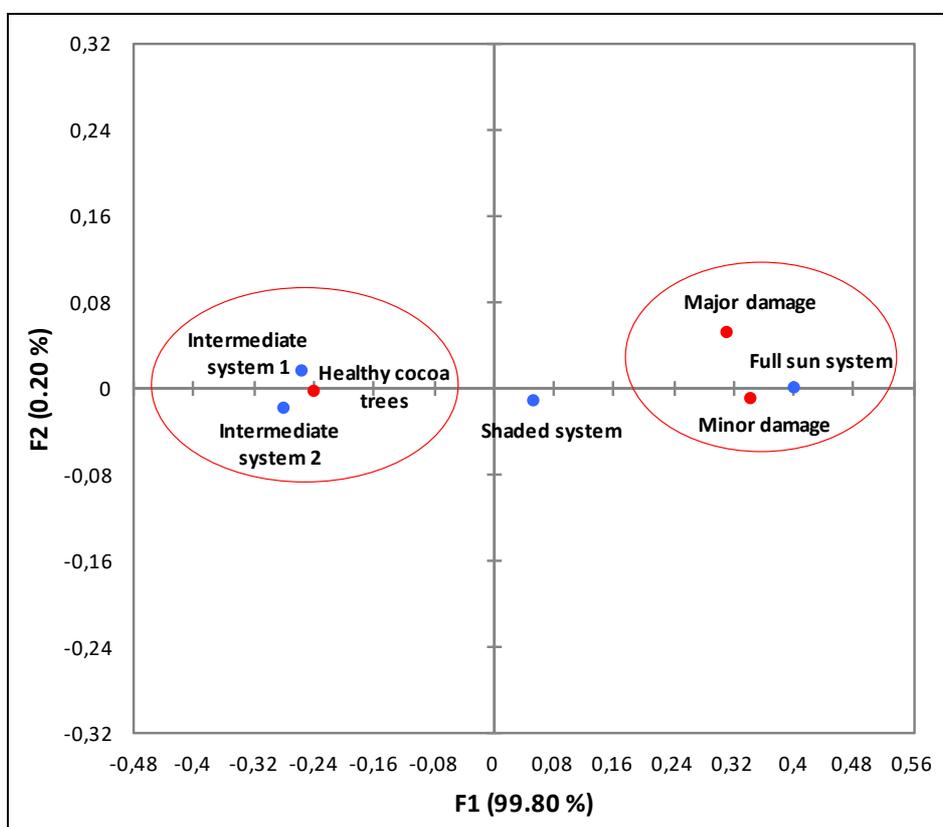


Fig 8: Factorial map showing the relationship between shade level and damage types

3. Discussion

3.1. Floristic richness

We identified 83 tree species belonging to 32 families. The Moraceae and Meliaceae families were the most represented in all the cocoa agroforests with 10 and 8 species respectively. This study shows a large difference in species richness and composition in the four cocoa agroforestry systems. Regarding plant species richness, there was an increase in the number of plant species from full sun systems to shaded systems. The proportion of forest trees was greater than that of fruits trees in shaded systems and intermediate systems. The difference could be as a result of in plantations already in production, structures in charge to supervise cocoa farmers in

these areas provide generally forest trees as shade trees. Some forests trees species found in the plantations in the study area such as *Albizia adianthifolia*, *Ceiba pentandra*, *Ficus exasperata*, *Funtumia elastica*, *Hevea brasiliensis*, *Spathodea campanulata*, *Spondias mombin* and *Terminalia superba* were identified in agroforestry systems of other regions of Côte d'Ivoire [21-23]. The conservation and introduction of forests trees in cocoa plantations could be linked to recognition by the new Ivorian forest code adopted in 2014 from the ownership of tree to the land owner. This could encourage the latter to allow these forest trees to proliferate or to be introduced into plantations, with the aim that in addition to the environmental services they provide to the plantation,

these trees could be used by producers without any constraints.

3.2. Diversity and distribution of termite fauna

Twenty nine (29) termite species belonging to 17 genera, 7 subfamilies and 3 families (Rhinotermitidae, Termitidae and Kalotermitidae) were identified. All termite species we sampled in this study have previously been reported in Côte d'Ivoire. Our results are similar to that of Ndiaye (1998) who collected 29 termites' species from fruit tree orchards in Senegal using orchard tree collection method. Studies carried out in Côte d'Ivoire by Tano (1993), Tra Bi (2013) and Coulibaly (2014) identified respectively 42, 34 and 36 termite species, respectively. This difference can be explained by the fact that Tano's sampling was conducted in a savanna region (Boro-Borotou) identified as one of the richest termite savannas compared to other African savannas. However, in general, species diversity is lower in most anthropized areas. This agrees with the work of Samb *et al.* (2011) who observed a decrease in species diversity in areas frequented by humans. These differences could also result from the fact that, termite's distribution translates into diversity and abundance that vary from one ecosystem to another depending on climate, soil type and vegetation [7]. Diversity and floristic composition of the plant species in our study area would therefore influence this specific difference. According to Anani Kotoklo *et al.* (2008), specific difference observed between different study areas is related to nature of soil and especially the floristic composition that surrounds each environment. The slightly higher number of species at intermediate system 2 (21 species) and shaded system (18 species) is therefore related to floristic composition of these two cropping systems.

For the feeding levels, the presence of 4 groups reflects a good functional diversity of the termitological fauna. The stand is dominated by fungus-growers and wood-feeders in all management systems, reflecting an abundance of wood food and litter from different environments. Indeed, fungus-growers harvest their food from dead leaves, dead wood and dried grass. Lignivorous feed on live, dead, dry or decaying wood. This result is consistent to the work of Tra Bi *et al.* (2010) explaining the dominance of fungus-growers by their adaptation favored by symbiotic relationship they have with the *Termitomyces* fungus which facilitates wood degradation. The existence of a correlation between full sun system and wood-feeders group, would be an indicator of the high rate of termite damage. The soil-feeders abundance in the full sun system compared to the other systems could be linked to the evolution of the physico-chemical structure in the full sun system which favored installation of this group of termite in this medium more degraded.

3.3. Attacks and damage of termite's pests in cocoa plantations

According to our results, infestations by termites are mostly type I. These high rates of type I attacks are due to the attack mode of different termite species encountered. Most termites build veneers on the trunks of plants. These veneers serve as protection to attack the plant [30]. A rate of attack due to termites is variable according to plots and shade systems. In systems without shade, the attack rate and damage caused by termites are higher compared to other management systems. This could be explained by several reasons: first, the vulnerability of the system without shade against the attacks of insect pests. Cocoa trees age also has an impact on the

termite attack. These results are in agreement with those of Tra Bi *et al.* (2013) showed that the middle and age of plots influence termite attacks. Termite attacks may be related to the soil nature (ferralitic red soil) that would favor the installation of termite mounds, sources of plants infestation [30].

Intermediate systems are the least attacked by termites. This weak attack of termites in intermediate systems could be explained by the composition and complexity of these systems. Several factors including shade would influence termite's installation in plots. These intermediate management systems could therefore help reduce termite attacks, given that massive deforestation and climatic disturbances in recent years have led to termites, formerly considered as minor pests, gaining momentum.

3.4. Relationship between shade trees and termite damage

We observed a strong correlation between the full sun system and termite damage on cocoa trees. Termite damage on cocoa trees was higher in systems with fewer shade trees. The level of shade would influence the types of termite damage and the number of cocoa trees suffered termite damage. We suspect that these attacks on cocoa trees were due to the lack of trees in these plots. It is likely that with the presence of shade trees, termites attack them and reduce the number of attacks on cacao trees. Field observations seem to prove that termite infestation affects a large number of shade trees regardless of the cropping system. Although [31] believe that in shaded plots, the density of trees associated with cocoa can negatively influence the success rate of cocoa trees by causing mortality, shade management could reduce pest attacks and thus improve yield [32]. Clough *et al.* (2011) showed that moderate shading, high labour input per unit area and an effective pest and disease management approach based on manual and cultural control are essential to increase yields while maintaining production in the long term.

Although aware of the damage caused by termites, farmers are rather concerned about the ravages of the swollen shoot. We recommend awareness raising and assistance from cocoa farmers on shade management and the choice of an appropriate cropping system that would reduce termite attacks, produce long term and preserve biodiversity.

Conclusion

Some insects are considered as major pests due to importance of damage to cocoa trees. Conversely, others are considered as minor pests because the losses the insects cause are negligible. However, because of the massive deforestation and climate change that have occurred in recent years, termites, previously considered as minor pests, are gradually becoming major pests in cocoa agroforests. In this work, we studied diversity of plant species, termite fauna and their damage in plots of different cocoa growing systems. This study shows that that shade influences termite species richness and damage in cocoa farms. We also noted that intermediate systems are least attacked by termites. Agroforestry systems, in addition to cocoa production, generate financial benefits from fruit or forest trees, these intermediate systems can serve as a compromise between long-term production, biodiversity conservation and producer incomes. However, implementation of these systems requires their adoption by producers and support of structures in charge of cocoa sector.

Acknowledgments

We would like to extend our sincere thanks to the sustainable cocoa project in the Nawa region which made it possible for us to carry out this work. We also thank the cocoa farmers who made their plantations available to us, as well as the technicians for their help and support during field work. Our profound gratitude also goes out to the different officials and village chiefs of the different localities.

References

- Burle L. Le cacaoyer. (Tome premier). Paris (France) : Maisonneuve et Larose. 1961, 316.
- Assiri AA. Étude de la régénération cacaoyère en côte d'ivoire : impact des techniques de réhabilitation et de replantation sur le développement et la productivité des vergers de cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) en relation avec l'état du sol. Thèse de Doctorat Unique, UFR STRM, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire. 2010, 170.
- Albala A. Bulletin d'information terres des jeunes, présentation du secteur forestier en Côte d'ivoire. 2008. <http://terredesjeunes.org/node/8>.
- FAO, SEP-REDD +. Données forestières de base pour la REDD+ en Côte d'Ivoire, cartographie de la dynamique forestière de 1986 à 2015. 2017, 32.
- Tscharntke T, Clough Y, Bhagwat SA, Buchori D, Faust H, Hertel D *et al.* Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes – a review. *J. Appl. Ecol.* 2011;48:619-629.
- Ageroute. Travaux pour l'amélioration de l'état du réseau prioritaire de pistes, agricoles dans la région de la Nawa (Soubré et Guéyo). Rapport révisé 1. 2013, 362.
- Jones DT, Eggleton P. Sampling termite assemblage in tropical forest: testing a rapid biodiversity assessment protocol. *Journal of applied Ecology.* 2000;37:191-203.
- Bouillon A, Mathot G. Quel est ce termite Africain ? *Zooleo n°1*. Editions de l'Université de Léopoldville, Léopoldville (Congo). 1965, 1-115.
- Bouillon A, Mathot G. Quel est ce termite africain? *Zooleo N°1*, Supplément N°1. Editions Lovanium Kinshasa. 1966, 1-23.
- Sjöstedt Y, Revision der Termiten Afrikas, Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar. 1925;3(1):91-143.
- Sjöstedt Y. Revision der Termiten Afrikas, Kungl Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar, Tredjeserien band. 1926;3(1-8):415.
- Emerson AE. Termites of the Belgian Congo and the Cameroon. Bulletin of the American Museum of Natural History, *Entomology.* 1928;95(7):401-574.
- Ahmad M. The phylogeny of termite genera based on imago-worker mandibles. Bulletin of the American Museum of Natural History (Entomology). 1950;95(2):36-86.
- Sands WA. A revision of the termite of genus *Amitermes* from the Ethiopian region (Isoptera, Termitidae, Amitermitinae). Bulletin of the British Museum (*Natural History*), (*Entomology*). 1959;8(4):129-156.
- Sands WA. The soldierless termites of Africa (Isoptera: Termitidae). Bulletin of the British Museum (Natural History), (*Entomology*), Supplement. 1972;18:244. Annexes.
- Sands WA. The termite genus *Amitermes* in Africa and the Middle East. *Natural Research Institute Bulletin* 51, Chatham, United Kingdom. 1992, 140.
- Sands WA. The Identification of Worker Castes of Termite Genera from Soils of Africa and the Middle East. CAB International & Natural Resources International, Wallingford, UK. 1998, 500.
- Ruelle JE. A revision of the genus *Macrotermes* from the Ethiopian region (Isoptera). *Bulletin of the British Museum (Natural History)*, (*Entomology*). 1970;24(9):365 - 444.
- Grassé PP. Termitologie. Tome III. Comportement, socialité, écologie, évolution, systématique. Fondation Singer-Polignac, Masson, Paris (France). 1986, 715.
- Cao Y, Williams DD, Larsen PD. Comparison of ecological communities: the problem of sample representativeness. *Ecological Monographs.* 2002;72:313-318.
- Assiri AA, Kacou EA, Assi FA, Ekra KS, Dji KF, Couloud JY *et al.* Rentabilité économique des techniques de réhabilitation et de replantation des vieux vergers de cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences.* 2012;14:1939-1951.
- Vroh BTA, Cissé A, Adou Yao CY, Kouamé D, Koffi KJ, Kpangui KB *et al.* Relations entre la diversité et la biomasse aérienne des espèces arborescentes dans les agroforêts traditionnelles à base de cacaoyers: cas de la localité de Lakota (Côte d'Ivoire). *African Crop Science Journal.* 2015;23:311-326.
- Adou Yao CY, Kpangui KB, Vroh BTA, Ouattara D. Pratiques culturelles, valeurs d'usage et perception des paysans des espèces compagnes du cacaoyer dans des agroforêts traditionnelles au centre de la Côte d'Ivoire. *Rev. d'ethnoécol.* 2016;9:1-17.
- Tano Y. Les termitières épigées d'un bassin versant en savane soudanienne: répartition et dynamique des nids, rôle sur les sols et les végétations. Thèse d'État ès Sciences, Université Nationale de Côte d'Ivoire. 1993, 250.
- Tra Bi CS. Diversité spécifique et dégâts des termites dans les cacaoyères (*Theobroma cacao* L., 1759) de la région d'Oumé en Côte D'ivoire. Thèse de Doctorat, Université de Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire. 2013, 243. annexes.
- Coulibaly T. Diversité et dégâts des termites dans les vergers de manguiers (*Mangifera indica* L., *anacardiaceae*) de la région de Korhogo (Côte d'Ivoire): essai de lutte par utilisation d'extraits aqueux de trois plantes locales Thèse de Doctorat, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire). 2014, 147.
- Samb T, Ndiaye AB, Diarra K. Biodiversity of Termites in relation to human activity: impact on the environment in Matam (Senegal). *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences.* 2011;2(1):313-323.
- Anani Kotoklo E, Nuto Y, Tano Y, Rouland-Lefèvre C, Bordereau C, Glietho AI. Peuplement termitique dans les champs de cannes à sucre à Tchikplonou-Condji et à Kévé, deux localités du Sud-Togo. *Ann. Univ. Lomé*, Tome XVII. 2008, 79-95.
- Tra Bi CS, 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.
- Gbenyedji JNBK, Kasseney BD, Nyamador WS, Sanbena BB, Kokutsè AD, Kokou K *et al.* Evaluation des

- attaques des termites (Isoptera, Brullé, 1832) sur quatre essences forestières d'importance économique au Togo (Afrique de l'ouest). *European Scientific Journal*. 2016;12:333-352.
31. Gala Bi TJ, Bohoussou NY, Akotto OF, Yao-Kouamé A. Impact des arbres associés sur l'exploitation cacaoyère dans les zones de transition forêt-savane : cas de M'Brimbo (centre-sud de La Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*. 2017;13:1857-7881.
 32. Vos JGM, Ritchie IB, Flood J. A la découverte du cacao. Un Guide pour la formation des facilitateurs. CABI Biosciences. 2003, 16.
 33. Clough Y, Barkmann J, Juhbandt J, Kessler M, Wanger TC, Anshary A *et al.* Combining high biodiversity with high yields in tropical agroforests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2011;108(20):8311-8316.

Résumé

La Côte d'Ivoire a bâti son économie sur l'agriculture particulièrement sur le binôme café-cacao. Mais avec les changements environnementaux, certains insectes tels que les termites sont devenus des contraintes majeures à la durabilité de la culture du cacao. Ce travail se propose d'évaluer l'effet de l'ombrage et de la fiente de poule sur la biodiversité des termites et des fourmis dans différents systèmes agroforestiers de cacao dans le sud-ouest ivoirien. La méthode d'estimation rapide de la biodiversité a été utilisée pour la collecte des termites et celle des appâts alimentaires et du battage des feuilles pour l'échantillonnage des fourmis. Les résultats obtenus montrent une richesse spécifique des termites plus élevée dans le système intermédiaire 2 (21 espèces) et dans le système ombragé (18 espèces). Les termites champignonnistes et xylophages sont les plus dominants avec respectivement 54,53% et 43,20%. Sur les 29 espèces de termites identifiés, 11 espèces sont responsables des dégâts occasionnés. Les attaques portent sur 41,82% des cacaoyers examinés. Concernant la myrmécofaune, 63 espèces de fourmis regroupées en 30 genres et 07 sous-familles ont été collectées. Le système intermédiaire 2 est le plus riche en fourmis avec 50 espèces. Globalement, la richesse spécifique moyenne des fourmis varie significativement suivant les systèmes d'ombrage (ANOVA, $F = 14,17$; $p < 0,001$). La sous-famille des Formicinae, des ponerinae et des Myrmicinae sont dominantes, et seule l'abondance relative de la sous-famille des Myrmicinae varie significativement suivant le système de culture. Dans l'ensemble, l'abondance relative des fourmis semble ne pas être influencée par l'ombrage mais pourrait avoir un effet sur celle des termites. Les résultats montrent également que la fertilisation modifie la structure trophique des termites mais n'a aucun effet significatif sur les dégâts occasionnés par ceux-ci.

Mots clés : cacao, systèmes agroforestiers, ombrage, dégâts, fertilisation

Abstract

Côte d'Ivoire has built its economy on agriculture, particularly on coffee-cocoa binomial. But with environmental changes, some insects such as termites have become major constraints to sustainability of cocoa cultivation. This work aims to evaluate the effect of shade and chicken manure on termite and ant biodiversity in different cocoa agroforestry systems in southwestern Côte d'Ivoire. Rapid biodiversity estimate method was used to collect termites and food bait and leaf threshing for ants sampling. Our results show a higher specific richness of termites in the intermediate system 2 (21 species) and shaded system (18 species). The fungus-growers and wood-feeders termites are the most dominant with respectively 54.53% and 43.20% compared to soil-feeders (2.2%) and grass-feeders (0.07%). At the 29 species of termites identified, 11 species are responsible for the damage caused. Termite's attacks relate 41.82% of cocoa trees examined. Concerning ant's fauna, 63 species of ants grouped into 30 genera and 07 sub-families were collected. Intermediate system 2 is the richest in ants (50 species). Overall, ants average specific richness varies significantly depending on the shade systems (ANOVA, $F = 14.17$; $p < 0.001$). The Formicinae, ponerinae and Myrmicinae subfamily are dominants, and only relative abundance of the Myrmicinae subfamily varies significantly according cultivation system. Overall, the relative abundance of ants does not appear to be influence by shade but could have an effect on termites. The results show that fertilization changes the trophic structure of termites but it has no significantly effect on termite's damage.

Keywords: cocoa, agroforestry systems, shade, damage, fertilization