

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

**ECOLE DOCTORALE SCIENCES DE LA VIE, DE LA SANTE ET DE
L'ENVIRONNEMENT**

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

ANNEE : 2016 N° ORDRE : 211



THESE DE DOCTORAT

Spécialité : Ecologie et Gestion des Ecosystèmes

Présenté par :

Cheikh Amet Bassirou SANE

**Relations entre le fonctionnement des agrosystèmes à base de
manguiers et les dégâts des termites (Termitidae : Isoptera)
dans les régions de Thiès et de Dakar, au Sénégal**

Soutenue le 09 Mai 2016, devant le Jury composé de :

M. Bhen Sikina TOGUEBAYE	Professeur, UCAD, Sénégal	Président
Dr. Dominique BORDAT	Chercheur HDR, France	Rapporteur
Dr. Mame Samba MBAYE	Maître de conférences, UCAD, Sénégal	Rapporteur
M. Mbacké SEMBENE	Professeur, UCAD, Sénégal	Rapporteur
Mme Corinne ROULAND-LEFEVRE	Professeure, IRD, France	Examinatrice
Dr. Makhfousse SARR	Chercheur, FAO, Sénégal	Examineur
Dr. Jean-Yves REY	Chercheur, CIRAD, France	Examineur
M. Karamoko DIARRA	Professeur, UCAD, Sénégal	Directeur

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le Programme de Développement des Marchés Agricoles et Agro-alimentaires du Sénégal (PDMAS) qui a bien voulu financer ces recherches grâce à sa collaboration avec l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) via son Centre pour le Développement de l'Horticulture (CDH). Nous remercions l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD) et le Centre de Coopération Internationale de Recherches Agronomiques pour le Développement (CIRAD) qui, grâce à leur soutien scientifique et financier, ont largement contribué à la réalisation de ces recherches. Ce travail n'aurait sans doute jamais vu le jour sans l'appui technique de l'Institut de Recherches pour Développement (IRD) de Bondy (France) qui bien voulu identifier les espèces de termites.

Nous remercions tous les producteurs de fruits qui ont permis la réalisation de cette étude dans leurs vergers et qui ont bien voulu répondre au sondage. Nous remercions également Michel Arbonnier pour sa contribution à l'identification des arbres et arbustes des haies.

Au terme de cette étude, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à tous mes encadrants. Ils m'ont accordé une attention constante et m'ont mis dans d'excellentes conditions pour l'accomplissement de ce travail. Ils furent pour moi plus que des encadreurs et n'ont ménagé ni leur soutien moral, ni leur soutien financier pour un heureux aboutissement de ce travail. Je leur exprime également toute mon admiration pour leur passion de la recherche, leur dynamisme et leur rigueur scientifique, qualités qu'ils se sont efforcés de me transmettre.

Pr. Karamoko DIARRA, Directeur de thèse et responsable du Master de Gestion Durable des Agro-écosystèmes Horticoles (GEDAH), pour m'avoir accueilli dans son équipe de recherche. Grand architecte de notre initiation à la recherche, il a su avec dévouement guider ce travail. J'ai bien aimé sa constante disponibilité, sa rigueur scientifique, ses conseils, ses orientations toujours précieuses, ses encouragements incessants mais aussi et surtout sa grande capacité à trouver des solutions aux problèmes multiples et variés auxquels j'ai eu à rencontrer dans le cadre de mes recherches.

Dr Jean-Yves REY, Maître de stage, chercheur au CIRAD qui s'est toujours efforcé de me transmettre son expérience et son vécu du terrain, sa rigueur scientifique mais également sa capacité à surmonter les problèmes rencontrés sur le terrain. Il a su me trouver un financement à ces recherches, des appuis techniques sur le terrain, des stages pédagogiques à Montpellier (CIRAD) et à Paris (IRD) mais aussi de nombreuses formations. Je lui remercie du fond du

cœur. A ces remerciements, j'associe son épouse pour sa sympathie, sa grande générosité et ses encouragements sans cesse renouvelés.

Dr Isabelle GRECHI, chercheuse au CIRAD, est basée à l'Île de la Réunion. Il est difficile de trouver des mots exacts pour témoigner la qualité de son encadrement. Elle a su m'inculper un esprit scientifique solide et a joué un rôle très important dans ma formation à la recherche. J'ai beaucoup apprécié sa grande générosité, ses multiples formations dont elle nous a gratifiées, sa rigueur scientifique, sa grande disponibilité, son appui scientifique, financier et sa ponctualité. Je lui remercie du fond du cœur et lui souhaite beaucoup de succès dans ses projets. Je n'oublierai jamais son investissement total et infaillible. Dr Jean François VAYSSIERES, chercheur au CIRAD basé au Bénin, a largement contribué à l'aboutissement de ces recherches. J'ai beaucoup apprécié sa grande générosité, ses conseils toujours précieux et utiles mais aussi ses encouragements.

Pr Corinne ROULAND-LEFEVRE, Directrice de l'IRD, a bien voulu encadrer ces recherches, malgré ses multiples charges administratives. Elle a joué un rôle très important dans l'identification des échantillons de termites, sans laquelle ce travail n'aurait jamais vu le jour. J'ai beaucoup aimé son soutien scientifique, ses encouragements, sa disponibilité et la qualité de son encadrement. J'associe à ces remerciements tout le personnel de l'IRD et toute l'équipe BIOEMCO.

Je tiens à remercier du fond du cœur le Dr Hubert DE BON du CIRAD pour son soutien financier, administratif et pour nous avoir mis dans d'excellentes conditions de stages à Montpellier. Nous avons beaucoup apprécié sa grande gentillesse, son souci permanent de nous mettre dans de meilleures conditions de travail et ses nombreux contacts utiles.

Je tiens également à remercier tous les membres du jury qui, malgré leurs multiples charges, ont bien accepté de juger ce travail.

Pr. Bhen Sikina TOGUEBAYE, chef du laboratoire du Parasitologie. C'est pour moi un grand honneur de le voir présider mon jury après avoir largement contribué à ma formation durant le Master et cela, malgré ses nombreuses charges.

Pr. Mbacké SEMBENE du Département de Biologie Animale et le Dr. Mame Samba MBAYE, chef du Département de Biologie Végétale qui ont toujours eu une grande estime pour tous les étudiants et sans distinction. Ils ont largement contribué à ma formation universitaire et m'ont beaucoup aidé dans la finalisation de ce travail. Je suis très heureux de les voir faire partie de

mon jury pour évaluer ce travail. Je suis également très heureux de voir le Dr Makhfousse SARR, qui a également participé à ma formation durant le Master, d'en faire partie.

Je tiens aussi à remercier Dr Victor Emile COLY et Dr Diénéba SALL SY, respectivement ex et nouvelle Directrice du CDH, l'ensemble de son personnel et toute son équipe d'arboriculture fruitière notamment Jeanne DIATTA, Paternelle DIATTA, Lamine DIAME, Yasmine ARDACHIRE ainsi que tous les stagiaires avec qui, j'ai eu à travailler.

Je tiens également à remercier tous nos collaborateurs sur le terrain. Ce sont entre autres Makhou DIOP, Raoul DIATTA, Mohamed DIATTA, Maffal FALL, Pierre NDIONE, Christian NDIONE, El Hadji BA, Manga KAMA, Olivier MAINQUILAN et Abdoulaye KA. Je me souviendrai toujours de leur grande disponibilité et de leur investissement sans faille dans la réalisation de nos activités de terrain. J'associe ces remerciements à tous les producteurs qui m'ont facilité le travail sur le terrain.

Je tiens à remercier du fond du cœur mon oncle Ansoumana BADJI, sa femme et toute sa famille à Thiès, qui ont accepté de m'accueillir à Thiès. J'ai beaucoup aimé sa grande générosité, sa gentillesse et surtout ses conseils toujours utiles.

Je remercie également toute ma grande famille d'accueil à Guédiawaye notamment Feu El Hadji Sitapha SANE (paix à son âme), ses femmes et ses enfants notamment Ansou, El Hadji, Omar, Sidou, Youssouph, Idrissa, Landing pour leur soutien financier et leurs encouragements sans cesse renouvelés. Je viens également à remercier mes grands frères Alioune Badara SANE, Malamine SANE, mes grandes sœurs Bintou, Astou, Mame Amy ainsi que toutes leurs familles pour leur soutien financier et leurs encouragements.

Je tiens à remercier tous mes amis et frères notamment Moussa Mborré DIEDHIOU, Pape Ansou DIEDHIOU, Moctar SANE, Bourama SANE, Sana BADJI, Chérif Youssouss DIEDHIOU et Sharif Youssouss SANE et tous les membres de l'Amicale des élèves étudiants de la Communauté Rurale de Ouonck (AEECRO) pour leur soutien et leurs encouragements.

Je remercie également tous les membres de ma famille à Bignona notamment mon père, ma mère, mes frères et sœurs pour m'avoir permis de faire de si longues études et m'avoir soutenue et encouragée tout au long de cette aventure.

Merci à toutes et à tous !

RESUME

La production de mangue occupe une place socio-économique extrêmement importante au Sénégal. Ces dernières années, le dépérissement des manguiers attribué en partie aux termites, est de plus en plus signalé par les producteurs comme un problème récurrent. Malgré le rôle positif des termites dans les écosystèmes, plusieurs espèces sont devenues nuisibles aux cultures. La prise en compte des éléments fonctionnels des agrosystèmes est devenue indispensable pour gérer durablement les ravageurs. Ce travail vise à i) évaluer la biodiversité et les dégâts causés par les termites dans les agrosystèmes, ii) caractériser le fonctionnement des agrosystèmes à base d'arbres fruitiers et à iii) évaluer les effets des caractéristiques des agrosystèmes sur la biodiversité et les dégâts des termites.

Il a été réalisé dans 85 vergers des régions de Thiès et de Dakar, au Sénégal. La caractérisation de la conception, des pratiques de gestion, de la végétation et de la composition de la haie a d'abord été réalisée dans l'ensemble des vergers. Ensuite les espèces de termites ont été inventoriées qualitativement et quantitativement. Enfin, l'état des arbres et les dégâts des termites ont été évalués qualitativement.

Ce travail a permis de définir 4 systèmes de cultures basés sur la conception et les pratiques de gestion des vergers. Une biodiversité relativement importante de 90 espèces de termites a été recensée au Sénégal dont 54 dans les vergers. Les dégâts des termites ont été observés sur plusieurs espèces fruitières comme le manguiers, l'anacarde, les *Citrus* etc. Le dépérissement des manguiers est dû aux dégâts provoqués par les termites à la base du tronc et des racines. L'indice d'attaque des arbres a été plus faible dans les vergers bien irrigués, taillés et recevant des doses fertilisants et de pesticides modérées. La biodiversité des termites a été positivement corrélée à l'état végétatif des arbres et a diminué avec la fertilisation organique. Certains types de sol ont été plus ou moins favorables à l'abondance relative des termites. Ces résultats devraient permettre de développer une stratégie de gestion efficace et durable des vergers pour diminuer l'impact des termites par la gestion de leur biodiversité et une meilleure connaissance de la conception et des pratiques de gestion des vergers.

Mots clés : Termites / Biodiversité / Manguiers / Agrosystèmes / Fonctionnement / Caractérisation

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

ACM	Analyse des Correspondances Multiples
ACP	Analyse en Composantes Principales
AFM	Analyse Factorielle Multiple
AHMF	Analyse Hiérarchique Multifactorielle
ANSD	Agence Nationale de Statistique et de la Démographie
BDH	Bouco Dié Hal
BIOEMCO	Biogéochimie et Ecologie des Milieux Continentaux
CDH	Centre pour le Développement Horticole
CHA	Classification Hiérarchique Agglomérative
CIRAD	Centre Internationale de Recherches Agronomiques pour le Développement
DBG	Diég Bou Gatte
ED-SEV	Ecole Doctorale Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FST	Faculté des Sciences et Techniques
GEDAH	Gestion Durable des Agro-écosystèmes Horticoles
IRD	Institut de Recherches pour le Développement
ISRA	Institut Sénégalaise de Recherches Agricoles
PDMAS	Programme de Développement des Marchés Agricoles et Agro-alimentaires du Sénégal
RDA	Analyse de Redondance
UCAD	Université Cheikh Anta Diop de Dakar

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1** : Liste des espèces de termites recensées au Sénégal de 1966 à 2015. Les noms des espèces en astérisque représentent les espèces recensées au cours de notre inventaire dans les 45 vergers des localités géographiques de Thiès et Dakar. - 35 -
- Tableau 2** : Variables et sous-variables utilisées pour caractériser les systèmes de cultures : définitions, moyenne, écart-type (SD), Minimal (Min) et les valeurs maximales (Max) calculés sur l'échantillon des vergers (n représente le nombre de vergers dans l'échantillon). - 61 -
- Tableau 3** : Répartition des espèces de la haie des 54 vergers dans les 4 types de systèmes de culture et les 4 structures de la haie. - 75 -
- Tableau 4** : Liste et définition de l'ensemble des variables de 'conception des vergers', des 'pratiques de gestion des vergers' et de la 'végétation des vergers' utilisées dans la caractérisation des vergers. - 89 -
- Tableau 5** : Liste des espèces de termites collectées en saison des pluies dans 35 vergers des régions de Thiès et de Dakar, en 2012 - 92 -
- Tableau 6** : Liste des espèces de termites associés aux arbres fruitiers dans différents agro-écosystèmes à base d'arbres fruitiers au niveau de la région de Thiès. - 116 -
- Tableau 7**: Geographic localization of the orchards according to the orchard clusters. XI
- Tableau 8** : Characterization of the hedgerow clusters with active variables (Mean, Standard deviation (SD), Minimal (Min) and Maximal (Max; n stands for the number of orchards in the sample). XIII

LISTE DES FIGURES

- Figure 1** : Organisation de la société des termites en castes - 9 -
- Figure 2** : Reproduction chez les termites - 10 -
- Figure 3** : Carte représentant l'ensemble des localités étudiées au niveau des régions de Thiès et de Dakar, au Sénégal - 18 -
- Figure 4** : Schéma conceptuel simplifié du fonctionnement du système Agrosystèmes de manguiers et du bioagresseur des termites incluant les effets directes et indirectes des autres composantes du système. - 22 -
- Figure 5** : Carte représentant les 14 régions administratives du Sénégal et les localités étudiées - 30 -
- Figure 6** : Le piège Pearce (à gauche) placé dans le trou (à droite) à l'aplomb d'un manguiers - 32 -
- Figure 7** : Délimitation du carré de dénombrement autour d'un pied de manguiers - 33 -
- Figure 8** : Modèle de creuser les 10 trous à l'intérieur du carré de dénombrement - 33 -
- Figure 9** : Corrélation des variables de conception (A), des variables de gestion des vergers (B), des variables de l'état végétatif des vergers (C) et des variables de la structure de la haie (D). - 70 -
- Figure 10** : Moyenne et écart-type des variables de gestion des vergers (A), des variables de conception du verger (B) et des variables de l'état végétatif et de l'infestation du verger dans l'ensemble de l'échantillon des vergers (All) et les types de vergers - 72 -
- Figure 11** : Les moyennes et les écart-types des variables des haies dans l'ensemble des vergers (All) et des types de haies (1-4). - 77 -
- Figure 12** : Carte des localités étudiées au niveau des régions de Thiès et de Dakar, au Sénégal - 87 -
- Figure 13** : Variations de la richesse spécifique, de la diversité et de l'abondance relative des termites dans les vergers en fonction du type de sol et des niveaux d'application des pesticides et de fertilisation des arbres. - 94 -
- Figure 14** : Variation de la richesse spécifique, de la densité et de l'abondance relative des termites en fonction de la vigueur des arbres dans les vergers. - 96 -
- Figure 15** : Dendrogramme regroupant les vergers Sénégalais en 4 groupes selon leur ressemblance dans la composition de la communauté de termites. - 97 -
- Figure 16** : Abondance relative des espèces de termites dans les 4 groupes de vergers définis en fonction de la ressemblance de leur communauté de termites. - 98 -

Figure 17 : Carte représentant les différentes localités géographiques étudiées	- 107 -
Figure 18 : Un manguiier présentant un état végétatif de type 1	- 109 -
Figure 19 : Un manguiier présentant un état de type 2	- 109 -
Figure 20 : Un manguiier présentant un état végétatif de type 3	- 110 -
Figure 21 : Un manguiier présentant un état végétatif de type 4	- 110 -
Figure 22 : Un manguiier mort présentant un état végétatif de type 5	- 111 -
Figure 23 : Un tronc de manguiier présentant une classe de dégâts de type 1	- 112 -
Figure 24 : Un tronc de manguiier présentant une classe de dégâts de type 2	- 112 -
Figure 25 : Un tronc de manguiier présentant une classe de dégâts de type 3	- 113 -
Figure 26 : Un tronc de manguiier présentant une classe de dégâts de type 4	- 113 -
Figure 27 : Un jeune manguiier mort (gauche) avec un tronc (droite) présentant une classe de dégâts de type 5	- 114 -
Figure 28 : Relations entre la présence des termites et l'intensité des dégâts des arbres (A) et Intensité des dégâts et le niveau de dépérissement des arbres (B)	- 118 -
Figure 29 : Variations de l'indice d'attaque (IA) des termites en fonction du type de verger.	- 119 -
Figure 30 : Variations de l'indice d'attaque (IA) des vergers par les termites en fonction des différents niveaux d'irrigation, de traitement pesticides, de fertilisation et de taille des arbres.	- 120 -
Figure 31 : Variation de l'indice d'attaque (IA) des termites en fonction du type de sol et de la localité géographique.	- 121 -
Figure 32 : Variations de l'indice d'état (IA) des arbres en fonction du type de verger.	- 122 -
Figure 33 : Variation de l'indice d'état (IA) des arbres en fonction du type de sol et de la localité géographique.	- 123 -

TABLES DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
RESUME	iv
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	v
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES FIGURES	vii
<i>INTRODUCTION GENERALE</i>	- 1 -
<i>Chapitre 1 : Synthèse bibliographique</i>	- 4 -
1.1. <i>SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE</i>	- 6 -
1.1.1. Le concept d'agro-écologie	- 6 -
1.1.2. Les termites : caractères généraux	- 7 -
1.1.3. Les agosystèmes de manguiers	- 14 -
<i>Chapitre 2 : Cadre d'étude et Approche méthodologique</i>	- 16 -
2.1. <i>CADRE D'ETUDE</i>	- 18 -
2.1.1. Présentation de la zone d'étude	- 18 -
2.2.2. Le milieu physique	- 19 -
2.2. <i>APPROCHE METHODOLOGIQUE</i>	- 20 -
2.2.1. Caractérisation des agrosystèmes à base d'arbres fruitiers	- 20 -
2.2.2. Echantillonnage des espèces de termites dans les vergers de manguiers	- 21 -
2.2.3. Fonctionnement des agrosystèmes de manguiers et émergence de deux (2) questions de recherche	- 21 -
<i>Chapitre 3 : Les termites au Sénégal</i>	- 25 -
ARTICLE 1	- 27 -
Diversité, nuisances et modes de gestion des termites (isoptera) dans les agrosystèmes Sénégalais	- 27 -
3.1. <i>Introduction</i>	- 29 -
3.2. <i>Matériel et Méthodes</i>	- 30 -
3.2.1. Les différentes localités géographiques prospectées	- 30 -
3.2.2. Méthodes d'inventaires des termites	- 31 -
3.2.3. Identification des espèces de termites	- 34 -
3.3. <i>Résultats : Synthèse de l'étude bibliographique et du nouvel inventaire</i>	- 34 -
3.3.1. Cultures ou essences botaniques étudiées dans différents milieux	- 34 -
3.3.2. Diversité des espèces de termites recensées au Sénégal	- 35 -

3.3.3.	<i>Dégâts des termites sur les essences botaniques associées aux milieux étudiés</i>	- 46
-		
3.3.4.	Dégâts des termites dans les plantations forestières	- 47 -
3.3.5.	Dégâts des termites dans les périmètres maraichers, les champs de manioc, les plantations de canne-à-sucre et sur les essences naturelles	- 47 -
3.3.6.	Rôle des termites	- 48 -
3.3.7.	Influence des activités humaines sur les termites	- 48 -
3.3.8.	Gestion des termites dans les agrosystèmes au Sénégal	- 48 -
3.4.	<i>Discussion</i>	- 50 -
3.4.1.	Diversité des termites dans les localités géographiques du Sénégal	- 50 -
3.4.2.	Diversité des termites dans les agrosystèmes et dans les milieux naturels	- 50 -
3.4.3.	Dégâts des termites sur les essences botaniques associées aux milieux	- 51 -
3.4.4.	Gestion des termites dans les agrosystèmes	- 52 -
3.5.	<i>Conclusion et perspectives</i>	- 52 -
	<i>Chapitre 4 : Caractérisation des agro-écosystèmes</i>	- 54 -
	ARTICLE 2	- 56 -
	AGROSYSTEMES A BASE DE MANGUIERS AU SENEGAL: DIVERSITE DES CONCEPTIONS ET DES MODES DE GESTION	- 56 -
4.1.	<i>Introduction</i>	- 58 -
4.2.	<i>Matériel et méthodes</i>	- 60 -
4.2.1.	Zone d'étude et échantillonnage des vergers	- 60 -
4.2.2.	Collecte des données	- 61 -
4.2.3.	Variables du groupe de la 'conception des vergers'	- 65 -
4.2.4.	Variables du groupe des 'pratiques de gestion des vergers'	- 65 -
4.2.5.	Variables du groupe de la 'végétation des vergers'	- 65 -
4.2.6.	Variable du groupe de 'l'infestation des vergers'	- 65 -
4.2.7.	Variables du groupe de la 'structure de la haie'	- 66 -
4.2.8.	Méthodes d'analyses	- 66 -
4.3.	<i>Résultats</i>	- 68 -
4.3.1.	Diversité des systèmes de culture à base de manguiers au Sénégal	- 68 -
4.3.2.	Typologie des systèmes de cultures des vergers à base de manguiers Sénégalais basés sur leur conception et leurs modes de gestion	- 73 -
4.3.3.	Caractéristiques des quatre systèmes de cultures à base de manguiers	- 75 -
4.4.	<i>Discussion et conclusion</i>	- 78 -
	<i>Chapitre 5 : Relations entre les caractéristiques des agrosystèmes à base de manguiers, la biodiversité des communautés de termites et leurs dégâts</i>	- 82 -
	ARTICLE 3	- 84 -

Biodiversité des communautés de termites associés aux manguiers dans les vergers Sénégalais et relations avec les caractéristiques des vergers	- 84 -
5.1.1. <i>Introduction</i>	- 85 -
5.1.2. <i>Matériel et méthodes</i>	- 87 -
5.1.2.1. Zone d'étude et échantillonnage des vergers	- 87 -
5.1.2.2. Echantillonnage des termites	- 88 -
5.1.2.3. Relations entre la diversité, la richesse spécifique et l'abondance des termites associés aux manguiers et les caractéristiques des vergers	- 89 -
5.1.2.4. Caractérisation des vergers basée sur les communautés des termites	- 91 -
5.1.2.5. Relations entre la composition des communautés de termites associées aux manguiers et les caractéristiques des vergers	- 91 -
5.1.3. <i>Résultats</i>	- 92 -
5.1.3.1. La richesse et la composition spécifique en termites dans les vergers de manguiers	- 92 -
5.1.3.2. Relations entre la diversité, la richesse spécifique et l'abondance des termites associés aux manguiers et les caractéristiques des vergers	- 93 -
5.1.3.3. Relation entre la composition des communautés de termites associées aux manguiers et les caractéristiques des vergers	- 96 -
5.1.4. <i>Discussion</i>	- 100 -
5.1.4.1. <i>La richesse et la composition spécifique des termites dans les localités géographiques</i>	- 100 -
5.1.4.2. <i>Relations entre la diversité, la richesse spécifique et l'abondance des termites associés aux manguiers et les caractéristiques des vergers</i>	- 100 -
5.1.4.3. <i>Relation entre la composition des communautés de termites associées aux manguiers et les caractéristiques des vergers</i>	- 101 -
5.1.5. <i>Conclusion et perspectives</i>	- 103 -
ARTICLE 4	- 105 -
Le dépérissement des manguiers : effets des caractéristiques des vergers et leurs pratiques de gestion et les dégâts des termites dans les agrosystèmes a base de manguiers	- 105 -
5.2.1. <i>Introduction</i>	- 106 -
5.2.2. <i>Matériel et méthodes</i>	- 107 -
5.2.2.1. Présentation de la zone d'étude	- 107 -
5.2.2.2. Echantillonnage des termites dans les sites étudiés	- 108 -
5.2.2.3. Evaluation de l'état des arbres et des dégâts des termites dans les vergers	- 108 -
5.2.2.4. Les variables des caractéristiques des vergers et des pratiques de gestion	- 114 -
5.2.2.5. Analyses statistiques	- 115 -
5.2.3. <i>Résultats</i>	- 116 -
5.2.3.1. Diversité des espèces de termites associés aux manguiers dans les agrosystèmes à base d'arbres fruitiers	- 116 -

5.2.3.2. Relation entre la présence des termites sur les manguiers, leurs dégâts et le dépérissement des manguiers	- 117 -
5.2.3.3. Effets des caractéristiques des vergers sur l'indice d'attaque	- 118 -
5.2.3.4. Effets des caractéristiques des vergers sur l'indice d'état (IE)	- 121 -
5.2.4. <i>Discussion</i>	- 123 -
5.2.4.1. Diversité et effets de la présence des termites sur les manguiers et de leurs dégâts sur le dépérissement des manguiers	- 123 -
5.2.4.2. Effets des pratiques de gestion des vergers sur les indices d'état, d'attaque et les taux d'attaques des vergers	- 124 -
5.2.5. <i>Conclusion et Perspectives</i>	- 126 -
<i>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES</i>	- 127 -
<i>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</i>	- 133 -
<i>Annexes</i>	I
<i>Annexe 1 : Fiche d'enquête sur les pratiques de gestion des arboriculteurs</i>	II
<i>Annexe 2 : Fiche de caractérisation des agrosystèmes de manguiers</i>	VII
<i>Annexe 3 : Fiche d'évaluation des états des arbres et des dégâts des termites</i>	VIII
<i>Annexe 4: Compléments résultats chapitre 2.</i>	X

INTRODUCTION GENERALE

Au Sénégal, la production fruitière nationale est estimée à 150 000 tonnes (ANSD, 2014). La part de la mangue dans cette production fruitière est estimée à 94 000 tonnes. Cette production de la mangue a augmenté de 50 % durant ces 20 dernières années faisant d'elle la première production fruitière du pays. Cette production de la mangue, bien que florissante ces dernières années, reste de plus en plus confrontée à diverses contraintes. Il s'agit de la contrainte liée à la mouche des fruits (*Bactrocera dorsalis*) signalé au Sénégal depuis 2004 (Vayssières et al. 2004), aux maladies fongiques (anthracnose) et à l'eau compte tenue des irrégularités des pluies.

Depuis quelques années, le dépérissement des manguiers, qui provoque à court ou à long terme, la mort de la plupart des manguiers au niveau des agro-écosystèmes, est signalé par les producteurs comme un problème récurrent. En Afrique de l'Ouest, plus particulièrement au Mali, le dépérissement des manguiers a été signalé par les producteurs depuis les années mille neuf cent soixante (Rey, 1974). Plusieurs facteurs peuvent expliquer ce dépérissement : la sécheresse, les maladies fongiques et les ravageurs comme les termites. En effet, un traitement des arbres contre les termites, entraîne une reprise progressive de la vigueur des arbres attaqués (Rey, Commun. Pers.). Ce qui laisse supposer que les termites pourraient être à l'origine du dépérissement observé dans les agro-écosystèmes.

Les termites sont des insectes sociaux appartenant au groupe des isoptères. Ils se nourrissent du bois mort mais aussi des plantes vivantes. L'aliment principal du termite est la cellulose (Fouquet, 2004) qu'il recherche partout où il est susceptible de la trouver. Les domaines d'étude sur les termites sont divers et variés. Ils jouent un rôle essentiel dans les écosystèmes et agrosystèmes (Fall et al., 2000 ; Duboisset et al., 2005) et sont considérés comme des ingénieurs du sol (Lavelle et al., 1997 ; Mando et al., 1998 ; Dawes, 2010). Les termites sont réputés s'attaquer au bois mort mais leurs dégâts peuvent s'étendre aux végétaux vivants. Ils causent des dégâts importants aussi bien sur les plantes vivrières et maraichères que sur les végétaux ligneux et fruitiers (Rouland-Lefèvre, 2011). Leurs dégâts ont été observés sur l'arachide (Pearce et al, 1995 ; Sembène, 1998), sur la canne à sucre (Moumpoya & Rouland, 1997), sur le maïs et sur le riz (Akpesse et al., 2008).

Au Sénégal, les recherches sur les nuisances des termites au niveau des arbres fruitiers ont été menées par Han et Ndiaye (1996). Ces auteurs ont largement contribué à la connaissance des termites ravageurs et les modalités d'attaques sans jamais faire le lien avec les interrelations entre la biodiversité des espèces de termites et le fonctionnement des agrosystèmes. Pourtant la gestion durable des ravageurs dans les agrosystèmes s'inscrit de nos jours dans le

développement durable. La prise en compte du fonctionnement des agro-écosystèmes dans leurs analyses est devenue indispensable à la mise en place de méthodes de gestion efficaces contre les ravageurs. Pour entreprendre une gestion efficace et durable des agrosystèmes, il est nécessaire de comprendre l'ensemble des relations qui régissent leur fonctionnement.

Cette étude s'intéresse au système « Agrosystèmes-bioagresseurs » dans un contexte de gestion Agro-écologique. La question de recherche générale est de comprendre les relations entre le fonctionnement des agro-écosystèmes à base de manguiers et les dégâts des termites. Afin d'apporter une contribution à l'amélioration de la production fruitière au Sénégal, ce travail vise de façon spécifique à :

1. Evaluer la biodiversité et les dégâts causés par les termites dans les agrosystèmes.
2. Caractériser le fonctionnement des agrosystèmes à base d'arbres fruitiers.
3. Evaluer les effets des caractéristiques des agro-écosystèmes à base de manguiers sur la biodiversité et les dégâts des termites associés aux manguiers.

Le manuscrit est subdivisé en une introduction générale, 4 chapitres pouvant ou non correspondre à un ou deux articles publiés, soumis ou en instance de soumission, une discussion et une conclusion générale.

L'introduction générale décrit la nature et l'étendue du sujet, la problématique et les justificatifs de l'étude ainsi que les objectifs spécifiques de l'étude.

Les chapitres 1 présente la synthèse bibliographique.

Le chapitre 2 présente le cadre de l'étude et l'approche méthodologique.

Le Chapitre 3 présente une étude sur les termites au Sénégal.

Le Chapitre 4 présente une caractérisation des agro-écosystèmes à base d'arbres fruitiers des régions de Thiès et de Dakar, au Sénégal.

Le Chapitre 5 présente les effets des caractéristiques des agro-écosystèmes sur la biodiversité des communautés de termites et leurs dégâts.

La dernière partie du manuscrit présente une discussion et une conclusion générale ainsi que différentes perspectives de l'étude.

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

Ce chapitre présente la synthèse bibliographique et résume l'ensemble des travaux en relations avec la question de recherche. Il décrit le concept d'agro-écologie, les généralités sur les termites, leur rôle, leurs nuisances des termites dans les agro-écosystèmes et les effets de l'activité agricole sur la biodiversité et les dégâts des termites associés aux manguiers.

1.1. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1.1. Le concept d'agro-écologie

1.1.1.1. Agronomie

L'agronomie est une science de l'agriculture. Elle doit proposer une alternative aux pratiques en cours, donner des recommandations, proposer des solutions adaptées, aptes à résoudre les problèmes de l'agriculture dans une société donnée. L'agronomie doit également combiner spéculation et action, connaissance, théorie et pratique. L'agronomie apporte un regard technique sur la compréhension du fonctionnement du champ cultivé. L'usage intensif des intrants chimiques n'a jamais complètement éradiqué les bioagresseurs dans le monde. La considération du verger comme un ensemble d'arbres fruitiers isolés les uns des autres évolue pour devenir un système « arbres-bioagresseurs ». Une approche systémique des relations entre la plante, les bioagresseurs et le milieu est nécessaire pour comprendre et décrire le fonctionnement de ces nouveaux systèmes, plus complexes que ceux basés sur l'usage massif des intrants chimiques.

1.1.1.2. Ecologie

L'écologie, branche de la biologie, étudie les relations de dépendance et les interrelations des êtres vivants entre eux et avec leurs milieux de vie. L'homme fait partie intégrante de l'écosystème où il évolue. Le fait de l'exclure dans l'analyse du fonctionnement de l'écosystème globale est une erreur fondamentale qui a souvent conduit à des interventions inadéquates, voire tragiques. Les modifications que l'espèce humaine apporte aux écosystèmes naturels, qu'elles soient d'ordre biologiques ou chimiques, ont nécessairement des effets non seulement sur le milieu visé, mais également sur les systèmes adjacents et, par rétroaction, sur elle-même. L'homme est en compétition directe avec les autres espèces animales et végétales dans la recherche de la nourriture. Dans tout écosystème naturel ou modifié impliquant une compétition pour les ressources, le maintien du système écologiquement stable est visé. Cette résilience se définit ici par la capacité d'un système à revenir à son état initial après une perturbation. Elle dépend de l'élasticité et de la résistance de la communauté. Si l'élasticité se définit comme étant la vitesse à laquelle un système revient à son état initial après une perturbation, la résistance décrit sa capacité à résister en premier lieu à cette perturbation.

Au fur et à mesure que l'homme a modifié son environnement, les nouvelles conditions ont favorisé la prolifération d'espèces souvent à l'origine « discrètes » qui ont trouvé dans les espèces cultivées une source abondante de nourriture. Les écosystèmes naturels ou modifiés

sont extrêmement diversifiés. Mais en règle générale, les écosystèmes naturels sont plus diversifiés que les milieux modifiés. On assiste à une perte de biodiversité en passant des milieux naturels à certains milieux cultivés (Akpesse et *al.*, 2008). Cette biodiversité animale et végétale joue un rôle clé dans l'équilibre des systèmes.

1.1.1.3. Agro-écologie

L'agro-écologie est une discipline scientifique émergente qui a pour objet l'étude des agrosystèmes (Encyclopédie Wikipédia). Cette discipline constitue une nouvelle approche pour augmenter les capacités d'autorégulation de l'agro-écosystème (Vasquez Moreno, 2013). Ces dernières décennies, la lutte contre les organismes nocifs ou bio-agresseurs des cultures est devenue l'une des principales préoccupations des agriculteurs. Pour gérer un agro-écosystème de façon agro-écologique, on doit agir sur les causes pour lesquelles, les bio-agresseurs des plantes deviennent des ennemis des cultures et affectent les cultures. C'est pourquoi il est important de considérer tous les composantes de l'agro-écosystème dans l'étude. L'agro-écologie n'est pas une nouvelle lutte mais une gestion des populations d'espèces vivantes (animales, végétales et autres ...), par des méthodes agronomiques et écologiques, pour éviter qu'une ou plusieurs espèces ne deviennent des bioagresseurs.

1.1.2. Les termites : caractères généraux

1.1.2.1. Position Systématique et classification des termites

Les termites appartiennent à l'embranchement des arthropodes, à la classe des insectes et à l'ordre des Isoptères. Les différentes espèces de termites sont regroupées dans 6 familles : Mastotermitidae, Kalotermitidae, Termopsidae, Rhinotermitidae, Hodotermitidae et Termitidae (Zaremski et *al.*, 2009).

Quelles que soient les approches utilisées, les termites comptent plus de 2 800 espèces regroupé dans 280 genres, 7 familles et 14 sous-familles (Krishna, 1970 ; Pearce & Waite, 1994 ; Kambhampati & Eggleton, 2000). Les termites sont classés en deux grands groupes : les termites inférieurs et les termites supérieurs. Les termites inférieurs n'ont pas de castes différenciées. Les ouvriers peuvent donner des soldats qui peuvent redonner des ouvriers. On a une multiplicité de reproducteurs dans la même colonie. Chez les termites supérieurs, on note la présence d'un couple royale unique et des castes très différenciées. Les soldats et ouvriers (castes neutres) ont une morphologie très différente. Les soldats ont une grosse tête et des grosses mandibules qui sont adaptées à la lutte. Les ouvriers ont une morphologie très simple avec des mandibules qui vont leur permettre de couper la matière végétale et de l'assimiler.

L'identification et la classification des termites sont réalisées à partir des caractères morphologiques ou moléculaires. Les analyses morphologiques des termites se basent souvent sur les caractères des soldats et plus rarement les ouvriers et les sexués. De nombreuses espèces de termites sont identifiées à partir des soldats qui sont les individus de la colonie qui présentent les caractéristiques morphologiques les plus marquées. La taxonomie est basée sur la forme des mandibules mais aussi sur les mesures morphométriques lorsqu'aucun caractère qualitatif n'est distingué. D'autres critères tels que les traits comportementaux ou l'architecture des nids sont utilisés pour caractériser certaines morpho-espèces (Darlington, 1997). La biologie moléculaire a révolutionné la taxonomie et la systématique des insectes dans le monde (Caterino et *al.*, 2000). En effet, de très nombreux désaccords entre l'identification morphologique et moléculaire des termites sont apparus dans la littérature. Les études moléculaires se font généralement sur plusieurs gènes qui peuvent ne pas retracer les mêmes informations. Ce qui permet d'obtenir une phylogénie fiable. Même si on arrive à obtenir une phylogénie globale à l'échelle des familles de termites, elle reste problématique à plus fine échelle évolutive.

1.1.2.2. Organisation sociale des termites

Leur morphologie, 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. La société des termites est organisée en castes. Il existe différentes catégories d'individus dont chacun joue un rôle bien défini dans la société (Figure 1). La plus importante caste reste les reproducteurs : un roi et une reine. Le roi va rester à côté de sa reine durant toute la durée de la vie du couple royal. Chez certaines espèces, on estime la durée de vie du couple royale entre 60 à 80 ans. Les deux autres castes dites neutres (soldats et ouvriers) n'ont pas d'organes reproducteurs bien définis. Ils sont aveugles et n'ont jamais d'ailes. Les soldats ont pour rôle de défendre la colonie contre les agresseurs. Les ouvriers, constituant la caste la plus importante en nombre, vont faire tout le reste du travail : la recherche de la nourriture à l'extérieur, la construction de la termitière, l'entretien des œufs pondus, nourrir les jeunes, la reine, le roi, les soldats et toutes les tâches à l'intérieurs de la termitière.

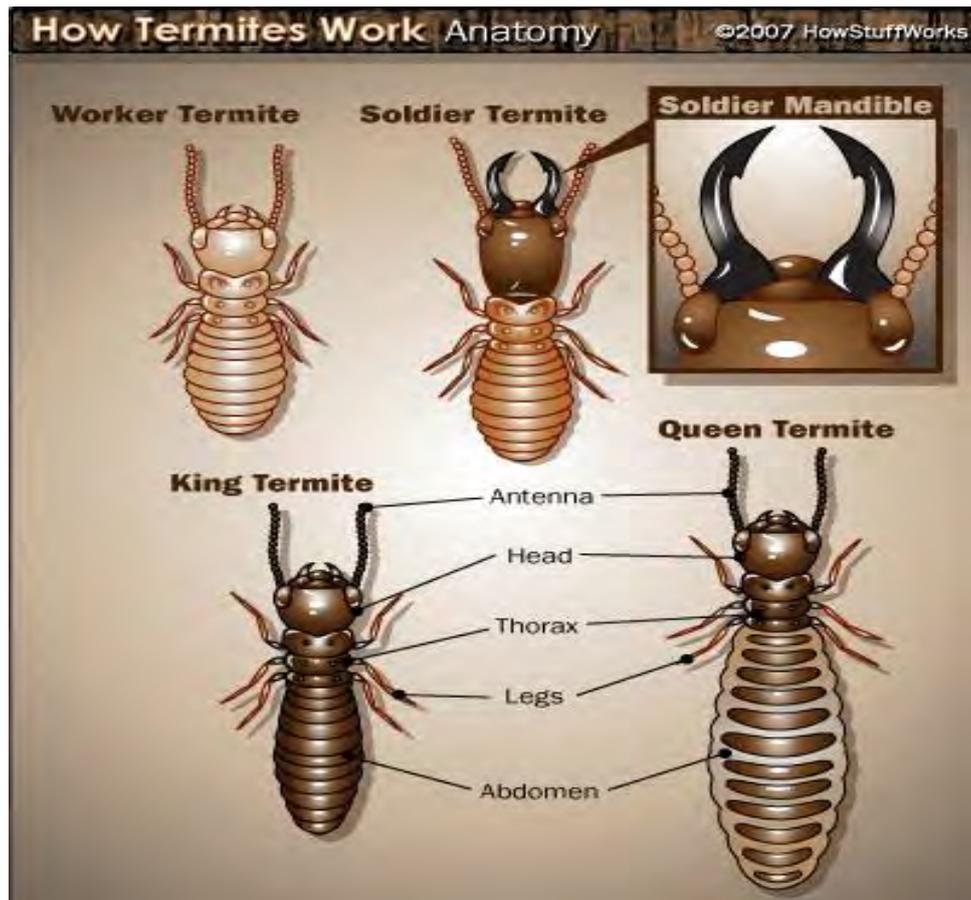


Figure 1 : Organisation de la société des termites en castes

(<http://animals.howstuffworks.com/insects/termite1.htm>)

1.1.2.3. Ethologie des termites

Les termites se distinguent les uns des autres aussi bien d'un point de vue comportemental qu'anatomique. Leur développement comporte une succession de stades larvaires donnant naissance aux castes de la société : les ouvriers, les soldats et les sexués (Figure 2).

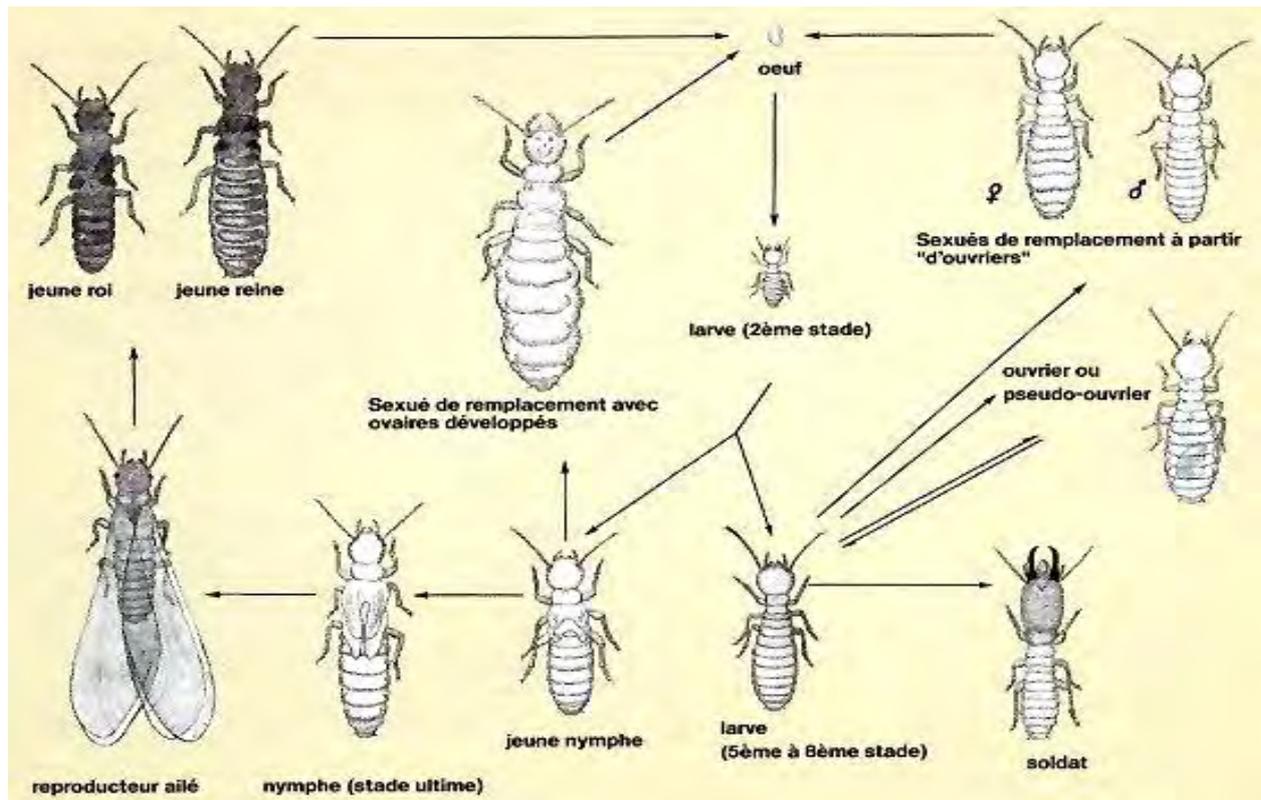


Figure 2 : Reproduction chez les termites

(<http://www.termitamor.com/wp-content/uploads/2015/02/cycle-vie-termite.jpg>)

Le roi de la termitière va féconder régulièrement sa reine. Celle-ci va pondre un œuf toute les 30 secondes. L'œuf se transforme en larve qui, après plusieurs mues ou stades, devient la nymphe, le soldat ou l'ouvrier selon les critères propres aux termites. Dotées de bourgeons d'ailes, les nymphes sont des individus aptes à donner des sexués ou imagos, qui essaimeront durant la saison des pluies. Dans certaines conditions (mort de la reine ou du roi, éloignement des individus par rapport à la colonie, colonie trop grande etc.), les ouvriers (non sexués) peuvent développer des organes génitaux fonctionnels appelés néoténiques et peuvent se reproduire pour fonder une nouvelle colonie.

1.1.2.4. Communication chez les termites

Tous les individus de la colonie appartenant aux autres castes (ouvriers, soldats, ...) sont aveugles à l'exception des sexués (mâles et femelles). Ils communiquent entre eux par des signaux chimiques à l'aide des antennes. La communication à l'extérieur de la termitière se fait à l'aide des phéromones. Il existe plusieurs types de phéromones comme par exemple les phéromones de piste (détection d'une source alimentaire), les phéromones d'alertes pour signaler un danger etc. Les hydrocarbures de surface permettent aux individus d'une même

colonie de se reconnaître par un simple contact des antennes. Les termites ont un odorat extrêmement développé. Ce qui rend plus difficile la lutte contre les insectes.

1.1.2.5. Place des termites dans le fonctionnement des écosystèmes

L'homme a une vision négative des termites à cause de leur statut d'agents destructeurs de constructions et des habitations en Occident mais aussi du fait qu'ils constituent les principaux ravageurs des cultures en milieu tropical. Pourtant ces insectes ont un rôle écologique essentiel dans les écosystèmes. Ils y assurent de nombreuses fonctions : recyclage des débris végétaux en matière organique, aération des sols, réhabilitation des sols dégradés etc.

En général, la biodiversité des espèces au sein d'un milieu donné joue un rôle très important dans le maintien de sa stabilité. Les milieux naturels sont plus stables que les milieux anthropisés (Eggleton et *al.*, 2002). La régulation des ravageurs par la préservation de la biodiversité est donc essentielle pour préserver l'équilibre d'un système (Naeem et *al.*, 1999).

1.1.2.6. Répartition des termites dans le monde

Les termites supérieurs sont répartis dans toutes les zones tropicales (ou équatoriales) sur tous les continents. Ce sont les colonies les plus importantes. Ces termites construisent les grosses termitières cathédrales qui sont souvent données en exemple quand on parle des termites dans les pays d'Afrique. Ces termites supérieurs ont des sociétés très organisées parce qu'en plus de leur parfaite organisation, ils cultivent un champignon dans leur termitière pour mieux digérer la matière organique. Ces termites sont trouvés uniquement en Afrique et en Asie.

1.1.2.7. Influence des pratiques culturelles sur la biodiversité des termites

L'activité agricole est responsable en grande partie de la dégradation de l'environnement (Altieri, 1999 ; Benton et *al.*, 2003). Cette dégradation peut affecter les services écosystémiques impliqués dans leur fonctionnement (Philpott et Armbricht, 2006). Par exemple, la déforestation et l'agriculture intensive réduisent la diversité et l'abondance de la faune du sol (Eggleton et *al.*, 1996). Les pratiques telles que le labour par exemple jouent un rôle non négligeable sur la diversité des termites au niveau des agro-écosystèmes (Black et *al.*, 1997). Les pratiques susceptibles d'influer sur les peuplements de termites sont : l'entretien du sol (sol nu, sol enherbé et cultures intercalaires) ; les pratiques d'irrigation ; la densité (couverture du sol, hauteurs des arbres et les strates) ; la fertilisation (minérale et / ou organique) ; les pratiques phytosanitaires (traitement chimique aérien ou du sol, introduction d'auxiliaires) etc. Par

exemple, Sands (1973) a montré qu'un labour répété autour des pieds permet d'éviter l'établissement des termites autour des arbres. Il en est de même pour une irrigation abondante sur le pied des arbres (Han et Ndiaye, 1996a).

1.1.2.8. Nuisance des termites dans les agrosystèmes

Si les termites jouent un rôle essentiel dans les écosystèmes, certaines de leurs espèces restent nuisibles dans les agrosystèmes (Pearce et al., 1995 ; Moumpoya et Rouland, 1997 ; Sembène, 1998 ; Akpessé et al., 2008 ; Rouland-Lefèvre, 2011) et dans les constructions (Han et al., 1998). L'espèce *Microtermes sp.*, est la plus répandue et la plus nuisible sur les cultures maraichères (Han et Ndiaye, 1998). Ces deux auteurs ont également souligné la faiblesse des attaques des termites sur les cultures maraichères au niveau des Niayes qui seraient liée au sol gorgé d'eau parfois saumâtre. Par ailleurs, les termites rencontrés dans les milieux naturels sont souvent présents dans les agrosystèmes même si ce sont les champignonnistes qui subsistent (Akpessé et al., 2008).

Au Sénégal, de nombreux auteurs ont montré la nuisance des termites sur les essences forestières (Roy Noël et Wane, 1978 ; Agbogba et Roy Noël, 1982 ; Roy Noël, 1982 ; Gueye et Lepage, 1988) que sur les essences fruitières (Han et Ndiaye 1996, 1997, 1998 ; Ndiaye et Han 2000, 2002, 2006 et 2007). Il est apparu de ces travaux que deux espèces du genre *Microcerotermes* sont les plus fréquentes sur les arbres et le taux d'attaque sur le manguier est de 66,8%. Cette étude, élargie au niveau de la Casamance (Ndiaye et Han, 2002) et de Thiès (Ndiaye et Han, 2006) a montré une dominance des espèces champignonnistes et lignivores dans les vergers. Les dégâts peuvent aller jusqu'à provoquer un dépérissement de l'arbre. Le taux d'attaque des termites sur les manguiers atteignent respectivement 82,2 %. De toutes les espèces ravageuses décrites, *Amitermes evuncifer* reste la plus dévastatrice (Ndiaye, 1998).

1.1.2.9. Méthodes de lutte contre les termites

Les moyens utilisés pour lutter contre les dégâts causés par les termites dans les agrosystèmes varient selon qu'on s'intéresse aux ravages des termites sur habitations et les constructions mais aussi sur les cultures.

Les moyens de combattre les termites au niveau des habitations ont beaucoup évolué. Des barrières chimiques, on est passé aux barrières physiques ou physico-chimiques. La technique des pièges appâts s'est beaucoup répandue et semble être efficace contre la plupart des espèces de la famille des Rhinotermitidae.

Sur les cultures en milieu tropical, plusieurs méthodes sont également utilisées pour lutter contre les termites. Ce sont entre autre les méthodes biologiques, les méthodes traditionnelles et les méthodes chimiques.

a) Les méthodes biologiques

La lutte biologique est basée sur l'utilisation des extraits botaniques de plantes comme par exemple l'*Azadirachta indica* ou *Carica papaya* (Akutse et al., 2012), l'utilisation d'entomopathogènes comme le *Métarhizium anisoplae* (Han et Ndiaye, 1996) etc.

b) Les méthodes traditionnelles

Les méthodes traditionnelles sont usuellement utilisées par les producteurs en Afrique. Au Ghana, 6 méthodes de lutte traditionnelles contre les termites sont utilisées (Akutse et al., 2012). Au Sénégal, les producteurs utilisent par exemple le lait de chaud, l'huile de vidange, la destruction physique des nids etc. Ces méthodes peuvent présenter des avantages ou des inconvénients sur l'environnement ou sur la biodiversité des termites. Elles présentent toutes une efficacité limitée dans le temps.

c) Les méthodes chimiques

Ces moyens de lutte, difficiles à mettre en place, sont souvent dérisoires. A l'heure actuelle, seule la lutte chimique a permis d'avoir des résultats satisfaisants. Les produits tels que le régent ou le fipronyl (Akpesse et al., 2001), le Chlorpyrifos-éthyl (Tahiri et Mangué, 2007), l'Aldrine ou le Méthidathion (Han et al., 1998) sont fréquemment utilisés pour lutter contre les termites. Mais la plupart de certains produits sont interdits car nocifs et dangereux pour l'homme. Il est donc nécessaire, de plus en plus de développer d'autres méthodes alternatives pour gérer ces ravageurs.

1.1.2.10. Pourquoi étudier les termites ?

Ces insectes sociaux ont un partage du travail et d'organisation. En Afrique, les termites sont présents partout. Ils ont un rôle essentiel dans les écosystèmes. Ce sont aussi des grands ravageurs dans les cultures. C'est pourquoi ils suscitent un grand intérêt de la part des chercheurs afin de comprendre l'organisation de leur société, leur importance dans les écosystèmes et de résoudre ce grand problème que constituent les ravages sur les végétaux, les habitations et les constructions.

1.1.3. Les agosystèmes de manguiers

1.1.3.1. Les systèmes de production fruitière au Sénégal

Au Sénégal, les systèmes de production fruitières sont divers et variés. Certains auteurs les ont regroupés en « vergers traditionnelles » et en « vergers modernes » (Vayssières et *al.*, 2008). D'autres les ont regroupés en 3 groupes : monocultures modernes, polycultures et mixtes souvent traditionnels (Vannière et *al.*, 2004). Ces systèmes de cultures présentent des conceptions et des modes de gestion très diversifiées.

1.1.3.2. Importance de la production fruitière

L'arboriculture fruitière occupe une place socio-économique extrêmement importante au Sénégal. La production fruitière nationale est estimée à 150 000 tonnes. La part de la production de mangue dans cette production a augmenté de 50 % durant ces 20 dernières années et se stabilise aujourd'hui autour de 94 000 tonnes. Ce qui fait d'elle la première production fruitière du pays. Cette production de mangue est essentiellement concentrée dans la zone de la Casamance (50 %), dans la zone des Niayes (45 %) et dans la zone du Sine Saloum (5 %). L'essentiel des fruits produits est destiné à l'autoconsommation ou à l'approvisionnement des marchés locaux. A Dakar, le prix de la mangue est exceptionnellement élevé par rapport aux autres pays de la sous-région et constitue donc une alternative intéressante à l'exportation. Malgré tout, les exportations dirigées vers l'Europe ont connu une croissance exponentielle durant ces dix dernières années atteignant ainsi le double entre 2005 et 2012 (6 700 tonnes).

1.1.3.3. Les contraintes liées à la production de mangue

La proportion de mangue (61,11 %) est très importante dans la zone des Niayes. Malheureusement la production de la mangue est confrontée à plusieurs contraintes.

a) La contrainte liée à la mouche des fruits

Au Sénégal, on trouve les mouches locales appartenant à la famille des Cératites. Le problème s'est aggravé avec l'arrivée de *Bactrocera dorsalis* (ex *B. invadens*), une mouche asiatique arrivée en Afrique par le Kenya. Signalée pour la première fois au Sénégal par Vayssières (2004), elle est devenue l'une des plus nuisibles de la mangue avec des pertes pouvant aller jusqu'à 80 %. Par ailleurs, il est important de signaler que c'est une espèce de quarantaine dans tous les pays importateurs européens et la détection d'une larve dans un conteneur entraîne sa destruction totale.

b) La contrainte liée aux maladies fongique

L'antracnose reste la contrainte la plus importante parmi les maladies fongiques. Elle forme des points noirs sur le fruit qui s'étendent ensuite sur la pulpe. Le fruit dont la peau est attaquée est toujours propre à la consommation mais reste la cause principale de la détérioration des fruits exportés en Europe. Il faut souligner que les contraintes liées à la cochenille farineuse du manguier ou à la bactériose ne sont pas signalées dans les zones d'étude.

c) La contrainte liée à l'eau

La contrainte liée à l'eau, compte tenu des irrégularités des pluies notées au Sénégal, est très importante. Il est donc nécessaire d'irriguer les agro-écosystèmes pour avoir une production régulière.

d) La contrainte liée aux termites

A côté de ces contraintes, il existe un problème très sérieux lié aux dégâts des termites et qui affecte l'intégrité physique des manguiers. Les nuisances des termites sur les arbres fruitiers ont longtemps été signalées par les producteurs mais aussi dans la littérature (Han et Ndiaye, 1996). La dégradation des agrosystèmes de manguiers par les termites semble être la plus importante dans cette zone. Cette dégradation progressive des agrosystèmes peut aller jusqu'à la disparition complète de certains d'entre eux. La mortalité des arbres fruitiers liée à ce phénomène est au cœur de la problématique du fonctionnement des agro-écosystèmes puisqu'en dehors des conséquences économiques, elle modifie radicalement la physiologie des arbres atteints et l'écologie de la parcelle par la présence de zones dénudées.

- ❖ les fertilisations (aucune, minérale et organique) et
- ❖ les pratiques phytosanitaires (traitement chimique aérien ou du sol, introduction d'auxiliaires).

Sands (1973) a montré qu'un labour répété autour des pieds permet d'éviter l'établissement des termites autour des arbres. Il en est de même pour une irrigation abondante sur le pied des arbres (Han et Ndiaye, 1996a).

Chapitre 2 : Cadre d'étude et Approche méthodologique

Ce chapitre comprend deux parties : le cadre d'étude et l'approche méthodologique. La première partie décrit le cadre d'étude, les caractéristiques physiques et climatiques de la zone étudiée. La seconde partie décrit l'approche méthodologique utilisée pour atteindre les objectifs spécifiques de la question de recherche : i) caractérisation du fonctionnement des agrosystèmes à base d'arbres fruitiers, ii) définition du cadre conceptuel du système d'étude « Agrosystème-Bioagresseur » et iii) inventaire qualitative et quantitative des termites dans les agro-écosystèmes.

2.1. CADRE D'ETUDE

2.1.1. Présentation de la zone d'étude

L'étude a été réalisée dans des vergers situés dans différentes localités des régions de Thiès et de Dakar, au Sénégal (Figure 3). La zone étudiée est incluse dans la région des Niayes et une partie du plateau de Thiès. La zone des Niayes est une bande de la côte occidentale caractérisée par des dépressions interdunaires. Elle s'étend de Dakar à Saint-Louis sur une distance de 200 km et une largeur variant de 5 à 30 km. Elle est située entre la latitude 14°54' et 15°54' nord et la longitude 16°60' et 17°20' ouest. Ce qui lui offre des conditions naturelles très favorables à l'agriculture. Le plateau de Thiès quant à lui est situé dans le bassin sénégalo-mauritanien.



Figure 3 : Carte représentant l'ensemble des localités étudiées au niveau des régions de Thiès et de Dakar, au Sénégal

2.2.2. Le milieu physique

2.2.2.1. Climatologie

Les deux régions sont caractérisées par un climat soudano-sahélien et une pluviométrie monomodale de Juillet à Septembre (entre 600 mm et 750 mm par an entre 2008 et 2012). On ne note aucune différence significative de la pluviométrie entre les deux régions de Thiès et de Dakar. Les températures sont plus basses dans la zone côtière des Niayes. Elles augmentent progressivement selon qu'on avance vers le plateau de Thiès. Mais d'une manière générale, les données de l'analyse physico-chimique indiquent que les sols des Niayes sont très fertiles, riches en matières organiques et donc favorables à l'agriculture.

2.2.2.2. Pédologie

Dans la zone des Niayes, le sol est hydromorphe très organique (semi-tourbeux à très humifères). Dans certaines circonstances (existence d'une nappe phréatique salée sous-jacente à une nappe d'eau douce), on peut assister à la genèse de sols halomorphes. Ces sols sont généralement assez répandus dans la zone des Niayes.

Le plateau de Thiès est caractérisé en majorité par des sols de types ferrugineux tropicaux non lessivés dont les plus répandus sont les sols *diors* (70 % des surfaces cultivables), les sols *decks* et *decks diors* (25 % des surfaces cultivables) et les sols de *bas-fonds* (2 à 3 % des surfaces cultivables) favorables aux cultures maraichères.

2.2. APPROCHE METHODOLOGIQUE

Cette étude s'appuie sur le concept de gestion agro-écologique des agro-écosystèmes. La gestion agro-écologique des termites dans les agro-écosystèmes de manguiers suppose qu'on doit agir sur les causes qui font que les termites, réputés s'attaquer aux bois morts, soient devenus de redoutables ravageurs des manguiers vivants. Ces recherches visent à comprendre de façon générale, les relations entre le fonctionnement des agro-écosystèmes de manguiers, les termites associés aux manguiers et les conditions qui favorisent ou non leurs dégâts dans ces agrosystèmes.

Il est donc nécessaire de connaître les caractéristiques des agrosystèmes de manguiers. Il s'agira entre autres de comprendre les variations de la biodiversité des termites en fonction de la conception et des pratiques de gestion des agrosystèmes. Ce qui permettra d'envisager ou non les possibilités de contrôler les ravages des termites par leur biodiversité. Il s'agira également de comprendre les conditions ou les pratiques de gestion qui réduisent ou augmentent les dégâts des termites dans les agrosystèmes de manguiers. La compréhension de ces relations permettra de proposer aux producteurs de nouvelles modes de gestion innovatrices de ce ravageur dans les agrosystèmes.

2.2.1. Caractérisation des agrosystèmes à base d'arbres fruitiers

La caractérisation des agrosystèmes a été réalisée dans 85 vergers localisés dans les régions de Thiès et de Dakar (Sénégal) sur une période de 2 ans. Elle consiste à une évaluation quantitative des caractéristiques des vergers selon leur conception, leur mode de gestion, leur végétation et la structure de leurs haies.

2.2.1.1. Evaluation qualitative et quantitative des caractéristiques des vergers

- ❖ Les variables de la conception des vergers (superficie, densité de plantation etc.)
- ❖ Les pratiques de gestion des vergers (irrigation, fertilisation, taille, entretien du verger, pâturage etc.)
- ❖ Les variables de l'état végétatif des vergers (litière, couverture du sol, état des arbres etc.)

2.2.1.2. La composition de la haie

- ❖ Liste des espèces botaniques se trouvant sur la haie.
- ❖ Dénombrement du nombre d'individus de chaque espèce botanique de la haie.
- ❖ Caractérisation de l'environnement des vergers (habitations, forêts, brousse, pistes etc.)

2.2.1.3. Les données de pluviométrie, de température et de l'humidité

- ❖ Les données de la pluviométrie
- ❖ Les données de la température et de l'humidité

2.2.2. Echantillonnage des espèces de termites dans les vergers de manguiers

L'échantillonnage des termites a été réalisé pour (1) comprendre les conditions qui permettent aux termites de causer des ravages sur le manguiers et (2) comprendre les effets des caractéristiques des vergers sur la biodiversité des termites.

2.2.3. Fonctionnement des agrosystèmes de manguiers et émergence de deux (2) questions de recherche

Le fonctionnement des agro-écosystèmes peut être vu comme étant l'influence des facteurs physico-chimiques et environnementaux sur l'agrosystème mais aussi par les interrelations entre les caractéristiques des agrosystèmes et la biodiversité végétale et animale des espèces dans l'agro-écosystème. Les différentes interactions des éléments fonctionnels de ce système sont présentées ci-dessous (Figure 4).

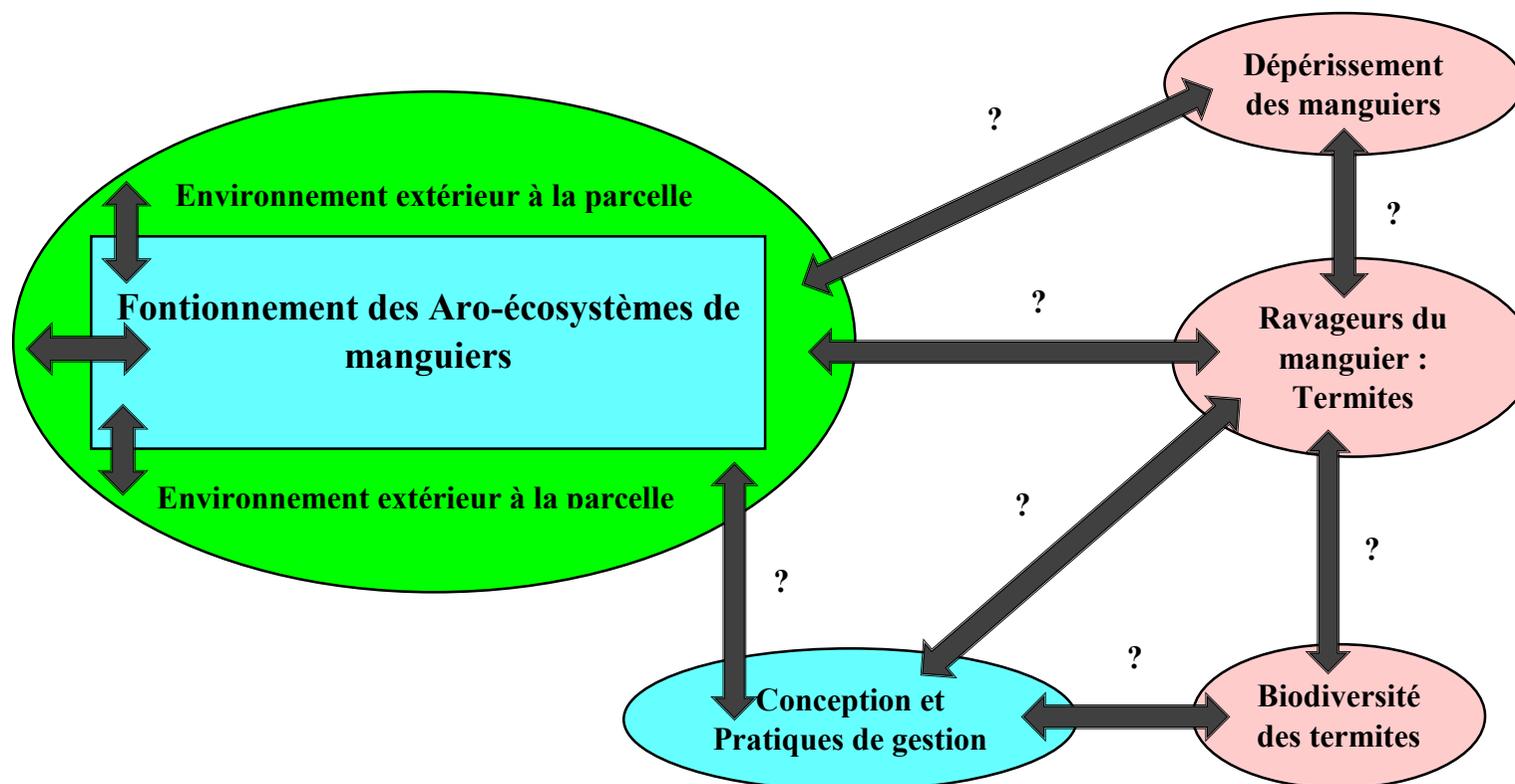


Figure 4 : Schéma conceptuel simplifié du fonctionnement du système Agrosystèmes de manguiers et du bioagresseur des termites incluant les effets directes et indirectes des autres composantes du système.

Notre système fonctionne comme un ensemble extrêmement complexe. Il est constitué d'un agro-écosystème de manguiers et des bioagresseurs (termites) avec les influences des conditions environnementales, de la conception et des pratiques de gestion des agrosystèmes et d'autres éléments qui peuvent interagir ensemble directement ou indirectement.

a) L'agrosystème : le verger

- ❖ L'agro-écosystème est constitué de l'ensemble des espèces fruitières qui y sont cultivées et présente des conceptions et des pratiques de gestion définies par le propriétaire.
- ❖ Cet agro-écosystème va subir les influences de l'environnement extérieur et des conditions climatiques telles que la température, l'humidité et la pluviométrie.

b) Le bioagresseur : le termite ravageur

- ❖ Les bio-agresseurs (termites ou pathogènes des manguiers) peuvent avoir une action directe ou indirecte sur l'état végétatif des manguiers et provoquer ainsi un désordre physiologique ou un dépérissement de l'arbre.
- ❖ D'autres facteurs tels que le stress hydrique ou les champignons pathogènes peuvent également provoquer ce désordre physiologique.

c) Interactions entre la conception, le mode de gestion des vergers et les composantes du système

- ❖ La conception et les pratiques de gestion des agrosystèmes de manguiers influencent en grande partie leur fonctionnement. Elles peuvent avoir non seulement une influence sur les dégâts et la biodiversité des bioagresseurs mais aussi sur les autres composantes du système telles que les prédateurs du bioagresseur (fourmis). Par exemple, la lutte chimique va réduire les populations du bioagresseur mais aussi celles du prédateur. Les pratiques culturales agissent sur l'état physiologique du manguiers, sur le bioagresseur et sur le prédateur. Il faut aussi souligner que toutes les pratiques qui affectent directement un des éléments du réseau trophique de l'agrosystème, affecteront les autres éléments du système.
- ❖ La biodiversité du bioagresseur peut déterminer ou non l'équilibre de l'agro-écosystème. Cette biodiversité peut aussi dépendre de la biodiversité et de la taille des populations des fourmis prédatrices. La biodiversité d'un bioagresseur peut, dans certaines circonstances, réduire l'effet ravageur de ce dernier. Il serait donc très intéressant de voir, dans quelles circonstances, la biodiversité des termites pourrait réduire leurs dégâts dans les agro-écosystèmes de manguiers.

Ce qui nous amène à ces deux questions de recherche :

1. Existe-t-il des conceptions et des pratiques de gestion qui soient les plus stables et qui affectent le moins possibles la biodiversité des termites dans les agro-écosystèmes de manguiers ?
2. Existe-t-il des conceptions et des pratiques de gestion qui peuvent réduire les dégâts causés par les termites dans les agro-écosystèmes de manguiers ?

Chapitre 3 : Les termites au Sénégal

Ce chapitre a été rédigé sous forme d'un seul article publié dans la revue « *International Journal of Biological and Chemical Sciences* ». Cet article constitue une combinaison entre quelques résultats et une revue de la littérature intitulée « Diversité, nuisances et modes de gestion des termites (Isoptera) dans les agrosystèmes Sénégalais ». Il présente la liste des espèces recensées au Sénégal, leurs groupes trophiques, les différentes essences fruitières ou botaniques associées aux termites et les localités géographiques où elles ont été recensées.

ARTICLE 1

Diversité, nuisances et modes de gestion des termites (isoptera) dans les agrosystèmes Sénégalais

Cheikh Amet Bassirou SANE^{1*}, Corinne ROULAND-LEFEVRE², Isabelle GRECHI³, Jean-Yves REY⁴, Jean-François VAYSSIERES⁵, Lamine DIAME⁶, Karamoko DIARRA⁷

Publié en Février 2016 dans la revue International Journal of Biological and Chemical Sciences

Résumé

Ce travail présente la première liste des espèces de termites recensées, une revue de la littérature de leurs dégâts sur les essences botaniques et leurs modes de gestion dans les agrosystèmes au Sénégal entre 1966 et 2015. Elle a été faite sur la base d'une revue bibliographique existante et complétée par un récent inventaire dans 45 vergers. Au total, 90 espèces de termites sont recensées dont 54 sont rencontrées dans les vergers. La répartition de ces espèces est tributaire des conditions climatiques et édaphiques. Il est possible que cette diversité, relativement élevée, ait été sous-estimée à cause des difficultés liées à l'identification de certaines espèces de termites et à la faiblesse des inventaires dans certaines localités géographiques. Les récents inventaires dans les vergers ont d'ailleurs permis de signaler une nouvelle espèce, *Amitermes guineensis* précédemment signalée dans les jachères. Les termites champignonnistes et les xylophages sont dominants dans les vergers et 45 sur les 54 recensés dans les vergers s'attaquent aux arbres fruitiers. Les termites causent des dégâts plus ou moins importants sur plusieurs essences botaniques. Leurs méthodes de gestion sont diverses et variées et l'efficacité de certaines d'entre elles doit être étudiée afin de promouvoir les plus efficaces.

Mots clés : Termite, biodiversité, essence botanique, dégâts, méthode de gestion, vergers

Abstract

This work presents the first species list of termites of Senegal based on a review on the literature the plants they damage and the methods of their management in Senegalese agroecosystems from 1966 to 2015. It was carried out based on a bibliographic review completed by a recent survey in 45 orchards. In sum, 90 termite species are recorded and 54 were collected in orchards. The distribution of termite species is related to climatic and edaphic conditions. It might be possible that this high diversity of termites be under-estimated because of difficulties for identification of some species and the weakness of the surveys in some geographic localities. The recent orchard surveys have more over allowed to signal a new species, *Amitermes guineensis* previously known in laying fallows. Mushroom grower termites and xylophagous termites are dominant in orchards and 45 species out of 54 are known as crop tree pests in orchards. Termites are responsible of important damages of a lot of botanical species. There are several and various methods to termite pest species and the efficacy of some of them must be further studied in order to promote the better ones.

Key words: Termite, biodiversity, botanical species, damage, management methods, orchard

3.1.Introduction

Au Sénégal, les termites ont fait l'objet d'études relevant de domaines divers et variés. Les premières études ont d'abord concernés l'éthologie et la biologie des termites (Roy-Noël, 1972, 1974 ; Lepage, 1974). Elles ont ensuite concerné le rôle et les dégâts des termites dans les périmètres reboisés (Gueye et Lepage, 1988). Plus récemment, des chercheurs se sont intéressés à la connaissance des termites ravageurs et à l'évaluation de leurs dégâts sur différentes cultures telles que les arbres fruitiers (Ndiaye et Han, 2000, 2002, 2006), les cultures maraichères (Han et Ndiaye, 1998), la canne-à-sucre (Mampouya, 1997), les arachides (Sembene, 1998) et le manioc (Faye et *al.*, 2014). L'écologie des peuplements de termites dans les jachères et les cultures a aussi été étudiée (Sarr, 1999 ; Fall et *al.*, 2000). Une étude bibliographique sur la diversité des termites et leurs dégâts sur les cultures et les périmètres reboisés a été réalisée par Sarr et *al.* (2005). Les travaux les plus récents ont enfin évalué l'impact des activités humaines sur la biodiversité des termites (Samb et *al.*, 2011) et leur rôle dans la décomposition de la bouse sèche de bovin (Diop et *al.*, 2013). Depuis quelques années, nous nous intéressons à la caractérisation des agrosystèmes fruitiers à base de manguiers au niveau des régions de Thiès et de Dakar (Grechi et *al.*, 2013) et à l'évaluation des facteurs modifiant la biodiversité des termites mais aussi des fourmis (Diame et *al.*, 2015) dans ces agrosystèmes.

L'ensemble des études qui ont été réalisées sur les termites depuis près de 50 années de recherche au Sénégal ont permis d'acquérir de nombreuses connaissances qui restent à ce jour diffuses, peu synthétisées et toujours pas accessibles. Il apparait désormais opportun et utile pour la communauté scientifique de regrouper l'ensemble de ces connaissances dans une synthèse. Ce travail a pour objectifs de fournir une liste de l'ensemble des espèces de termites recensées au Sénégal depuis 1966 et de préciser les cultures qui leur sont associées, leurs groupes trophiques ainsi que les milieux et les zones géographiques dans lesquelles elles ont été recensées. Ce travail vise également à caractériser les dégâts sur les essences botaniques qui sont dus aux termites ainsi que les méthodes de gestion des termites dans les vergers. Ce travail sera essentiellement basé sur une revue bibliographique et un récent inventaire qualitatif et quantitatif mené dans 45 vergers à base de manguiers répartis dans les localités géographiques de Dakar et Thiès.

3.2. Matériel et Méthodes

3.2.1. Les différentes localités géographiques prospectées

L'ensemble des études ayant permis le recensement des espèces de termites ont été réalisées dans diverses localités géographiques du Sénégal (Figure 5). Il s'agit des régions de Dakar, de Thiès, de Saint Louis, de Louga, de Matam, de Kaolack, de Fatick, de Kédougou, de Ziguinchor et de Kolda. Ces différentes zones d'études regroupent l'ensemble de la diversité des conditions pédologiques, climatiques et des types de végétations qui existent au Sénégal. L'inventaire qui a récemment été mené sur 45 vergers à base de manguiers a été réalisé dans les localités géographiques de Thiès et de Dakar. Ces deux localités géographiques occupent une place importante dans la production fruitière du pays. Elles sont caractérisées par des aérosols ferrallitiques et un climat soudano-sahélien avec une pluviométrie monomodale variant de 600 à 750 mm entre 2008 et 2013.

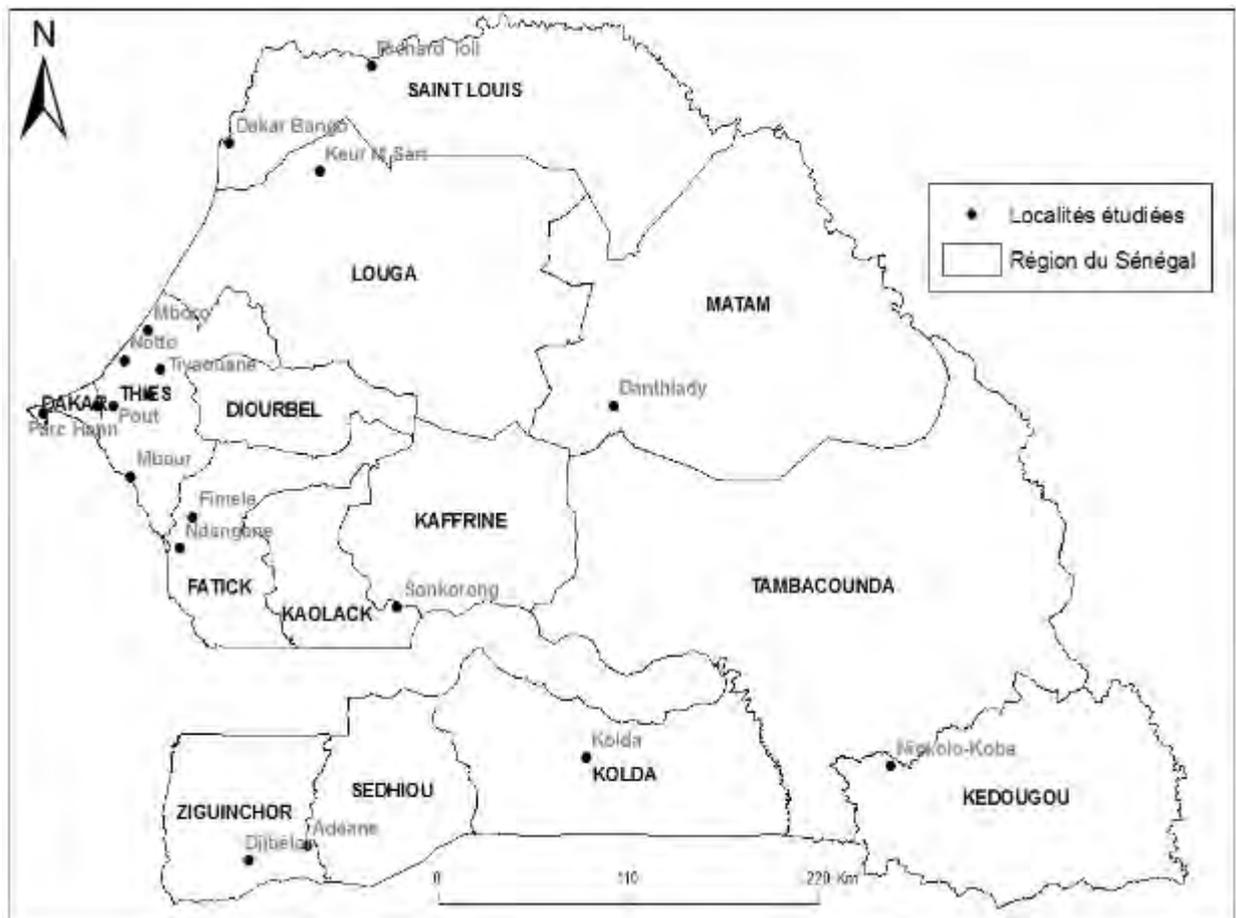


Figure 5 : Carte représentant les 14 régions administratives du Sénégal et les localités étudiées

3.2.2. Méthodes d'inventaires des termites

Dans l'ensemble des études menées sur les termites au Sénégal qui ont été répertoriées, ainsi que dans l'inventaire qui a récemment été mené sur 45 vergers à base de manguiers, différentes méthodes d'inventaires ont été utilisées.

a) Fouille systématique

La fouille systématique a été utilisée dans les vergers (Han et Ndiaye, 1996 ; Ndiaye, 1998 ; Ndiaye et Han, 2000, 2002, 2006) ainsi que dans les périmètres reboisés ou dans les parcs (Roy-Noël et Wane, 1977 ; Roy-Noël, 1978, 1982 ; Agbogba et Roy-Noël, 1986 ; Gueye et Lepage, 1988) et dans les systèmes naturels (Roy-Noël, 1969, 1971, 1978, 1982) pour apprécier la densité, la diversité et l'intensité des attaques de termites sur les arbres. Elle consiste à rechercher les termites au niveau de leurs placages et de leurs galeries, des résidus des récoltes, du collet du tronc et des racines des arbres et dans les morceaux de bois trouvés dans les champs visités.

La fouille systématique a également été utilisée dans les jachères de Sonkorong (Kaolack) par Sarr (1999). Il s'agit dans ce cas de fouiller des parcelles dont chacune est constituée de plusieurs placettes de 5 m² et distantes de 4 m. Un trou de 30 cm de diamètre a été creusé dans chaque placette pour prélever les espèces souterraines.

b) Observation par transect

L'observation par transect (Jones et Eggleton, 2000) a été utilisée dans les savanes (Lepage, 1974) et dans les jachères de Kolda (Fall et *al.*, 2000). La méthode consiste à récolter le maximum d'espèces de termites en 30 minutes (par deux personnes) sur chaque section de 10 m², le long d'un transect de 100 m de long et 2 m de large subdivisé en 20 sections.

c) Le piégeage Pearce

Le piégeage Pearce a été utilisé dans les vergers de manguiers récemment inventoriés. Il consiste à mettre un carton en sandwich entre deux plaques de verre de dimension 10 X 15 cm, le tout relié par des fils de fer (Photo 6). Le piège est enterré à proximité des manguiers et relevé au bout de 5 jours. Les individus piégés sont récoltés puis dénombrés.



Figure 6 : Le piège Pearce (à gauche) placé dans le trou (à droite) à l'aplomb d'un manguier

Le piège Pearce, enterré à l'aplomb du manguier, est relevé au bout de 5 jours. Les individus piégés sont récoltés puis dénombrés. Cependant cette méthode comporte un biais. Certaines espèces comme par exemple *Amitermes evuncifer*, décrit par Ndiaye (2000) comme étant l'espèce la plus dévastatrice sur manguier, n'a jamais été capturée. Ce qui explique l'utilisation de la méthode du carré de dénombrement.

d) Le carré de dénombrement

Cette méthode a été développée par les chercheurs anglo-saxons pour quantifier les termites dans les agro écosystèmes. Elle est a été utilisée dans les champs de maïs et de canne à sucre (Mampouya, 1997) pour quantifier les populations des espèces de termites.

Les méthodes d'échantillonnage quantitatives des termites dans les agro-écosystèmes à base de fruitiers sont rares voire inexistantes. Cette méthode du carré de dénombrement a été utilisé dans le cadre de cette étude. Pour cela, cinq (5) vergers par localité étudiée ont été choisis en raison de six (6) arbres par parcelle. Sur chaque arbre, un carré d'une superficie de 4 m² a été délimité de sorte que le tronc du manguier soit le centre (Photo 7).



Figure 7 : Délimitation du carrée de dénombrement autour d'un pied de manguiier

La biodiversité des espèces de termites à l'intérieur du carré de dénombrement est d'abord recueillie. Dix trous sont ensuite creusés à l'intérieur du carré : neuf (9) de dimension 20 X 20 X 10 et un (1) de dimension 20 X 20 X 30 (Figure 8). Toutes les espèces de termites rencontrées dans chaque trou sont récoltées puis conservées dans des tubes entomologiques contenant de l'alcool 90°C. La distance de chaque trou par rapport au tronc a été mesurée à l'aide d'un ruban mètre. La variété, la vigueur, les dégâts causés par les termites, le diamètre (cm) et la hauteur de chaque arbre échantillonnés ont été notés ou mesurés.



Figure 8 : Modèle de creuser les 10 trous à l'intérieur du carré de dénombrement

L'inventaire des termites qui a été mené sur 45 vergers à base de manguiers au cours de cette étude a été réalisé à l'aide de trois méthodes : la fouille systématique ; le piégeage Pearce et le carré de dénombrement.

3.2.3. Identification des espèces de termites

Les échantillons de termites récoltés au cours de nos inventaires ont été conservés dans des tubes contenant de l'alcool 90°C et classés en morphotypes. Chaque morphotype a été identifié jusqu'à la morpho-espèce ou à l'espèce à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) au sein de l'UMR iEES Paris(France).

3.3.Résultats : Synthèse de l'étude bibliographique et du nouvel inventaire

3.3.1. Cultures ou essences botaniques étudiées dans différents milieux

Les nuisances des termites ont été étudiées au Sénégal sur plusieurs espèces botaniques parmi les essences naturelles, forestières et fruitières mais aussi les cultures maraichères, vivrières et annuelles. Les essences naturelles concernent essentiellement trois espèces : *Commiphora africana*, *Grewia bicolor* et *Guiera senegalensis* (Lepage, 1974). Les essences forestières utilisées dans différents programmes de reboisement étudiées sont l'anacardier (*Anacardium occidentale.*), le filao (*Casuarina equisetifolia*), le gommier des rivières (*Eucalyptus canaldulensis*) et les *Eucalyptus sp* (Roy-Noël et Wane, 1977 ; Roy-Noël, 1982 ; Agbogba et Roy-Noël, 1982, 1986 ; Agbogba, 1985 ; Gueye et Lepage, 1988 ; Gueye, 1988). Les essences fruitières étudiées (Ndiaye, 1998) sont : le manguiers (*Mangifera indica*), l'anacardier (*Anacardium occidentale*), les agrumes (*Citrus spp.*), le mandarinier (*Citrus reticulata*), l'oranger (*Citrus sinensis*), le citronnier (*Citrus limon*), le cocotier (*Cocos nucifera*), le pamplemoussier (*Citrus grandis*), l'avocatier (*Persea americana*), le corossolier (*Annona muricata*), le goyavier (*Psidium guajava*), le grenadier (*Punica granatum*), le sapotillier (*Manilkara zapota*), la pomme cannelle (*Annona squamosa*), le papayer (*Carica papaya*) et la surelle (*Phyllanthus acidus*). Les cultures maraichères étudiées (Han et Ndiaye, 1998) sont : l'aubergine (*Solanum melongena*), le gombo (*Abelmoschus esculentus*), le haricot vert (*Phaseolus vulgaris*), l'oignon (*Allium cepa*), la tomate (*Solanum lycopersicum*), l'oseille (*Hibiscus sabdariffa*), la salade, le chou (*Brassica oleracea*), la courgette (*Cucurbita pepo*) et le piment (*Capsicum spp.*). Les cultures vivrières étudiées sont le manioc (*Mahihot esculenta*) (Faye et al., 2014). Les cultures annuelles étudiées sont la canne à sucre (*Saccharum officinarum*) (Mampouya, 1997) et l'arachide (*Arachis hypogaea*) (Sembene, 1998).

3.3.2. Diversité des espèces de termites recensées au Sénégal

a) Espèces de termites recensées dans les localités géographiques du Sénégal

Les recherches menées sur les termites au Sénégal de 1966 à nos jours ont permis de recenser 90 espèces (Tableau 1). Ces espèces sont réparties en 3 familles (Kalotermitidae, Rhinotermitidae et Termitidae), 9 sous-familles (Kalotermitinae, Psammotermitinae, Coptotermitinae, Termitinae, Cubitermitinae, Nasutitermitinae, Macrotermitinae, Apicotermitinae et Amitermitinae) et 21 genres. L'ensemble de ces espèces de termites recensées appartiennent à 4 groupes trophiques : les xylophages, les champignonnistes, les humivores et les espèces fourrageuses. Le genre *Odontotermes* est le plus représenté avec 17 espèces. Il est suivi des genres *Microtermes* (10 espèces), *Microcerotermes* (8 espèces) et *Amitermes* (7 espèces).

Tableau 1 : Liste des espèces de termites recensées au Sénégal de 1966 à 2015. Les noms des espèces en astérisque représentent les espèces recensées au cours de notre inventaire dans les 45 vergers des localités géographiques de Thiès et Dakar.

Localités géographiques : Dakar (DK), Thiès (TH), Saint Louis et/ou Louga (SL), Matam (MT), Kaolack (KL), Tambacounda et/ou Kédougou (TK), Ziguinchor et/ou Kolda (ZK).

Cultures associées : Agrumes (Citrus spp.) (Ag), Anacardier (An), Avocatier (Av), Citronnier (Ci), Cocotier (Co), Corossolier (Cr), Goyavier (Go), Grenadier (Gr), Mandarinier (Ma), Manguiers (Mg), Oranger (Or), Pamplemoussier (Pa), Pomme-cannelle (Pc), Sapotillier (Sa), Canne à sucre (Cas), Manioc (Mc), Arachide (Ar), Cultures maraichères (Cm), Arbres Forestiers (Eucalyptus et Filao) (Af).

Références : Agbogba (1985) [1], Diop et al., (2013) [2], Fall et al., (2000) [3], Faye et al., (2014) [4], Gueye & Lepage (1988) [5], Han & Ndiaye (1996, 1998) [6], Lepage (1974) [7], Mampouya (1997) [8], Ndiaye (1998) [9], Ndiaye & Han (2000, 2002, 2006) [10], Roy-Noël (1969, 1972) [11], Samb et al., (2011) [12], Sarr (1999) [13], Sarr et al., (2005) [14]

Groupes trophiques : Champignonnistes (Champig.), Xylophage (Xyloph.), Fourragères (Fourrag.), Humivores (Humiv.).

Sous Famille	Genres	Espèces	Groupes trophiques	Localités géographiques	Milieux	Cultures associées	Références
1. Famille des Kalotermitidae (Banks, 1919)							
Kalotermitinae (Emerson, 1919)	<i>Neotermes</i> Holmgren, 1911	<i>Neotermes camerunensis</i> Sjöstedt, 1897	Xyloph.	DK	Plantation Forestière, Verger	Mg	[6], [9], [10], [14]
	<i>Cryptotermes</i> Banks, 1906	<i>Cryptotermes havilandi</i> Sjöstedt, 1897	Xyloph.	DK, TH	Verger	Mg	[7], [9], [10], [14]
2. Famille des Rhinotermitidae (Light, 1921)							
Psammotermitine (Holmgren, 1911)	<i>Psammotermes</i> Desneux, 1902	* <i>Psammotermes hybostoma</i> Desneux, 1902	Xyloph.	DK, TH, SL, MT, KL	Verger, Maison Pâturage, Manioc, Savane, Plantation Forestière	Ag, Mg, Or, Mc, Cm, Pf	[2], [4], [5], [6], [7], [9], [10], [14]
Coptotermitinae (Holmgren, 1911)	<i>Coptotermes</i> Wasmann, 1896	<i>Coptotermes havilandi</i> Holmgren, 1911	Xyloph.	DK, TH, SL, MT, KL, ZK	Verger, Parc, Ferme, Pâturage, Jachère	Ag, An, Ci, Gr, Ma, Mg, Af	[1], [4], [5], [6], [9], [10], [12], [13], [14]
		<i>Coptotermes intermedius</i> Silvestri, 1912	Xyloph.	DK, TH, KL, MT, ZK, SL, TK	Verger, Jachère, Ferme, Pâturage, Savane, Parc, Plantation Forestière	Ag, An, Ci, Gr, Ma, Mg	[1], [5], [6], [7], [9], [10], [12], [13], [14]
		<i>Coptotermes sjöstedti</i> Holmgren, 1900	Xyloph.	DK, TH, KL, ZK	Verger	An, Ci, Mg	[10], [14]
		* <i>Coptotermes sp1</i>	Xyloph.	DK, TH	Verger	Mg	
		* <i>Coptotermes sp2</i>	Xyloph.	DK, TH	Verger	Mg	
3. Famille des Termitidae (Sjöstedt, 1926)							
		<i>Apicotermes spp.</i>	Humiv.	KL	Jachère		[3], [13], [14]

Apicotermatinae (Grassé & Noirot, 1954)	<i>Apicotermes</i> Holmgren, 1912	<i>Astalotermes quietus</i> Silvestri, 1914	Humiv.	DK			[9], [11], [14]
		<i>Adaiphrotermes cuniculator</i> Sands, 1972	Humiv.	DK			[9], [11], [14]
		<i>Aderitotermes aff. cavator</i> Sands, 1972	Humiv.	DK			[9], [11], [14]
Termitinae (Sjöstedt, 1926)	<i>Angulitermes</i> Harris, 1962	* <i>Angulitermes nilensis</i> Harris, 1962	Humiv.	DK, TH, MT	Plantation Forestière, Verger, Ferme, Pâturage,	Ag, An, Co, Gr, Mg, Af	[1], [5], [6], [7], [9], [10], [12], [14]
		<i>Angulitermes sp.</i>	Humiv.	KL	Jachère		[3],[7], [13], [14]
		<i>Angulitermes truncatus</i> Sjöstedt, 1926	Humiv.	DK, KL	Verger, Jachère		[13], [14]
Cubitermitinae (Krishna, 2013)	<i>Basidentitermes</i> Holmgren, 1912	<i>Basidentitermes potens</i> Silvestri, 1914-1915	Humiv.	DK	Plantation Forestière	Af	[9], [14]
		<i>Cubitermes</i> Wasmann, 1906	<i>Cubitermes bilobatodes</i> Silvestri, 1912	Humiv.	DK	Plantation Forestière	
	<i>Cubitermes curcatus</i> Silvestri, 1914-1915		Humiv.	DK, MT	Plantation Forestière, Ferme, Pâturage		[12], [14]
	<i>Cubitermes niokoloensis</i> Roy-Noël, 1969		Humiv.	KL, TK	Jachère, Parc		[3], [11], [13], [14]
	<i>Cubitermes oculatus</i> Silvestri, 1914-1915		Humiv.	DK	Plantation Forestière		[9], [14]
	<i>Cubitermes sp. aff. orthognathus</i> Emerson		Humiv.	KL, TK	Jachère, Parc		[3], [13], [14]
	* <i>Cubitermes sp.</i>	Humiv.	DK, TH	Verger	Mg		

		<i>Cubitermes sp2.</i>	Humiv.	KL	Jachère		[14]
	<i>Pericapritermes</i> Silvestri, 1914	<i>Pericapritermes urgens</i> Silvestri, 1914-1915	Humiv.	DK	Plantation Forestière	Af	[9], [14]
	<i>Procubitermes</i> Silvestri, 1914	<i>Procubitermes sjöstedti</i> Von Rosen, 1912	Humiv.	DK	Plantation Forestière	Af	[9], [14]
	<i>Promirotermes</i> Silvestri, 1914	<i>*Promirotermes holmgreni</i> Silvestri, 1912	Humiv.	DK, TH, KL, MT, TK	Verger, Parc, Ferme, Pâturage, Jachère	Ci, Mg	[7], [10], [11], [12], [13], [14]
<i>Promirotermes holmgreni</i> <i>infera</i> Silvestri, 1914-1915		Humiv.	DK, TH, KL, TK	Verger, Jachère, Parc, Plantation Forestière	Af	[6], [9], [11], [14]	
<i>Promirotermes redundens</i> Silvestri, 1914-1915		Humiv.	DK	Plantation Forestière, Parc		[9], [14]	
	<i>Tuberculitermes</i> Holmgren, 1914	<i>Termes hospes</i> Sjöstedt, 1900	Humiv.	DK	Parc, Plantation Forestière	Af	[1], [7], [14]
		<i>Tuberculitermes bycanistes</i> Sjöstedt, 1905	Humiv.	DK, KL	Jachère		[9], [13], [14]
		<i>Tuberculitermes flexuosus</i> Roy-Noël, 1969	Humiv.	TK	Parc		[11], [14]
		<i>Tuberculitermes</i> <i>guineensis</i> Silvestri	Humiv.	SL	Savane		[7], [14]
Nasutitermitinae (Hare, 1937)	<i>Trinervitermes</i> Holmgren, 1912	<i>*Trinervitermes geminatus</i> Wasmann, 1897	Fourrag.	DK, TH, SL, MT, TK	Verger, ferme, Pâturage, Parc, Savane	Mg	[2], [7], [9], [11], [12], [14]
		<i>Trinervitermes</i> <i>occidentalis</i> Sjöstedt, 1904	Fourrag.	SL	Savane		[7], [9], [14]

		<i>Trinervitermes oeconomus</i> Trägårdh (1904)	Fourrag.	SL	Savane		[7], [9], [14]
		<i>Trinervitermes togoensis</i> Sjöstedt, 1899	Fourrag.	DK, KL, SL	Jachère, Savane		[3], [7], [9], [14]
		* <i>Trinervitermes trinervius</i> Rambur, 1842	Fourrag.	SL, TH, KL, MT, TK	Verger, Jachère, Ferme, Savane, Canne-à-sucre, Pâturage, Parc	Mg, Cas	[3], [8], [9], [11], [12], [13], [14]
		<i>Trinervitermes sp.</i>	Fourrag.	MT	Ferme, Pâturage		[2], [14]
	<i>Nasutitermes</i> Dudley, 1890	<i>Allodontotermes giffardii</i> Silvestri, 1914-1915	Fourrag.	TK	Parc		[11], [14]
		<i>Nasutitermes arborum</i> Smeathmann, 1781	Fourrag.	DK, TK, ZK	Verger, Parc, Plantation Forestière	Mg, An, Af	[9], [10], [11], [14]
		<i>Fulleritermes tenebricus</i> Silvestri, 1914-1915	Fourrag.	DK, TK, ZK	Verger, Parc, Jachère, Plantation Forestière	Mg, An	[9], [10], [11], [14]
Macrotermitinae (Kemner, 1934)	<i>Ancistrotermes</i> Silvestri, 1912	* <i>Ancistrotermes cavithorax</i> Sjöstedt, 1899	Champig.	DK, TH, SL, TK	Verger, Parc, Canne- à-sucre, Plantation Forestière	An, Ci, Ma, Mg, Or, Pa, Cas, Af	[8], [9], [10], [11], [14]
		<i>Ancistrotermes crucifer</i> Sjöstedt, 1897	Champig.	KL, TK, ZK	Verger, Parc, Jachère	An, Av, Mg	[3], [9], [10], [11], [14]
		<i>Ancistrotermes guineensis</i> Silvestri, 1912	Champig.	ZK, TK	Verger, Parc	Ci, Go, Ma, Mg, Or	[9], [10], [11], [14]
		* <i>Ancistrotermes sp</i>	Champig.	TH	Verger	Mg	
	<i>Macrotermes</i> Holmgren, 1909	* <i>Macrotermes bellicosus</i> Smeathmann, 1786	Champig.	DK, TH, KL, ZK, TK	Verger, Jachère, Parc	An, Ma, Mg, Or	[3], [7], [9], [10], [14]

		<i>Macrotermes natalensis</i> Haviland, 1898	Champig.	KL, TK	Jachère, Parc		[11], [13], [14]
		* <i>Macrotermes subhyalinus</i> Rambur, 1842	Champig.	DK, TH, SL, MT, KL, ZK, TK	Verger, Jachère, Ferme, Pâturage, Champ, Parc, Maraichage	Go, Ma, Mg, Mc, Cm	[2], [3], [4], [6], [9], [10], [11], [12], [13], [14]
	<i>Microtermes</i> Wasmann, 1902	* <i>Microtermes hollandei</i> Grassé, 1937	Champig.	DK, TH, KL, SL	Verger, Jachère, Savane, Plantation Forestière	Mg, Af, Ar, Mil	[3], [5], [6], [7], [9], [10], [13], [14]
		* <i>Microtermes lepidus</i> Sjöstedt, 1924	Champig.	DK, TH, MT	Verger, Ferme, Pâturage, Champ	Mg, Mc	[2], [4], [12]
		<i>Microtermes toumodiensis</i> Grassé, 1937	Champig.	DK	Verger, Plantation Forestière	Mg, Af	[5], [9], [14]
		* <i>Microtermes grassei</i> Grasse, 1937	Champig.	DK, TH, MT, KL	Verger, Jachère, Ferme, Pâturage	Mg, Ar, Mil	[2], [3], [12], [13], [14]
		<i>Microtermes natalensis</i>	Champig.				[14]
		* <i>Microtermes subhyalinus</i> Silvestri, 1914	Champig.	DK, TH, MT, KL	Verger, Ferme, Pâturage	Ma, Mg	[2], [12]
		<i>Microtermes aff. osborni</i> Emerson	Champig.	TK	Parc		[11], [14]
		<i>Microtermes problematicus</i> Grassé, 1937	Champig.	DK	Plantation Forestière, Parc	Af	[9]
		<i>Microtermes vadschaggae</i> Sjöstedt, 1907	Champig.	DK, TH	Verger, Plantation Forestière, Parc	Mg, Af	[9]

		<i>*Microtermes sp.</i>	Champig.	DK, TH, KL	Verger, jachère, Maraichage	Mg, Cm	[6], [13]
		<i>Microtermes spp</i>	Champig.	DK, TH, SL, KL, ZK	Verger	Ag, An, Av, Ci, Co, Cr, Go, Gr, Ma, Mg, Or, Pa, Pc, Sa	[9], [10]
		<i>Microtermes sp1</i>	Champig.	KL	Jachère		[3], [14]
		<i>Microtermes sp3</i>	Champig.	KL	Jachère		[9], [14]
	<i>Odontotermes</i> Holmgren, 1912	<i>Odontotermes latericius</i> Haviland, 1898	Champig.	DK, KL, TK	Verger, Jachère, Parc	Mg, Mil, Ar	[3], [9], [11], [13], [14]
		<i>Odontotermes longigula</i> Roy-Noël, 1969	Champig.	TH, ZK, TK	Verger, Parc	Mg	[9], [10], [11], [14]
		<i>Odontotermes nolaensis</i> Sjöstedt, 1924	Champig.	TK	Parc		[11], [14]
		<i>*Odontotermes nilensis</i> Emerson, 1918	Champig.	DK, TH, KH, SL	Verger, Jachère, Parc, Plantation Forestière	Mg, Af, An, Cm	[5], [6], [9], [10], [13]
		<i>*Odontotermes aff. nilensis</i>	Champig.	TH	Verger	Ma, Mg	
		<i>*Odontotermes aff. parvus</i>	Champig.	TH	Verger	Mg	
		<i>*Odontotermes aff. vulgaris</i>	Champig.	DK, TH	Verger	Mg	
		<i>*Odontotermes vulgaris</i> Haviland, 1898	Champig.	DK, TH	Verger	Mg	[9]

		* <i>Odontotermes pauperans</i> Silvestri, 1912	Champig.	DK, TH, ZK	Verger, Plantation Forestière	Ci, Co, Ma, Mg, Or, Pa Af	[1], [10],
		<i>Odontotermes silvicolus</i> Roy-Noël, 1969	Champig.	TK	Parc		[11], [14]
		<i>Odontotermes smeathmani</i>	Champig.	DK, KL, MT	Jachère, Parc		[7], [14]
		<i>Odontotermes sudanensis</i> Sjöstedt, 1824	Champig.	DK	Plantation Forestière, Parc	Af	[9]
		<i>Odontotermes aff.</i> <i>intervenens</i> Sjöstedt	Champig.	TK	Parc		[11], [14]
		* <i>Odontotermes sp.</i>	Champig.	DK, TH, MT	Verger, Ferme, Champ, Maison, Pâturage	Ma, Mg, Mc	[4], [12]
		<i>Odontotermes sp. aff.</i> <i>intervenens</i>	Champig.	SL	Canne-à-sucre	Cas	[8], [14]
		<i>Odontotermes sp. aff.</i> <i>nilensis</i> Emerson, 1949	Champig.	MT	Ferme, Pâturage		[2]
		<i>Odontotermes sp. aff.</i> <i>erraticus</i>	Champig.	TH	Champ	Mc	[4]
		<i>Odontotermes spp.</i>	Champig.	DK, TH, SL, KL, ZK	Verger	Ag, An, Av, Ci, Co, Cr, Go, Gr, Ma, Mg, Or, Sa	[9], [10]
		* <i>Odontotermes sp1</i>	Champig.	DK, TH	Verger	Mg	
		* <i>Odontotermes sp2</i>	Champig.	DK, TH	Verger	Mg	

		<i>*Odontotermes sp3</i>	Champig.	DK, TH	Verger	Mg	
Amitermitinae Kemner (1934)	<i>Eremotermes</i> Silvestri, 1911	<i>Eremotermes senegalensis</i> Mampouya, 1997	Xyloph.	SL	Canne-à-sucre	Cas	[8], [9], [14]
		<i>Eremotermes sp.</i>	Xyloph.	DK, KL, MT	Ferme, Jachère, Pâturage		[4], [9], [12], [13]
		<i>Eremotermes sp. A</i>	Xyloph.	MT	Ferme, pâturage		[2]
	<i>Amitermes</i> Silvestri, 1901	<i>Anaplotermes sp</i>	Xyloph.	KL	Jachère		[9], [13]
		<i>*Amitermes evuncifer</i> Silvestri, 1912	Xyloph.	DK, TH, SL, MT, KL, TK, ZK	Verger, Jachère, Maison, Champ, Parc, Savane, Plantation Forestière	An, Ci, Co, Go, Mg, Or, Mc, Af, Cm	[1], [2], [3], [4], [5][6], [7], [9], [10], [11], [12], [13], [14]
		<i>Amitermes aff. hastatus</i> Haviland, 1898	Xyloph.	MT	Ferme, Pâturage		[12]
		<i>*Amitermes guineensis</i> Sands, 1992	Xyloph.	TH, KL	Verger, Jachère	Mg	[13], [14]
		<i>Amitermes messinae</i> Silvestri, 1914-1915	Xyloph.	MT	Ferme, Pâturage		[2]
		<i>Amitermes sp.</i>	Xyloph.	MT	Ferme, Pâturage		[2]
		<i>Amitermes spinifer</i> Silvestri, 1912	Xyloph.	DK, KL, MT, SL	Jachère, Savane		[2], [11], [13], [14]
		<i>Amitermes stephensoni</i> Silvestri, 1912	Xyloph.	KL	Jachère		[14]
<i>Microcerotermes</i> Silvestri, 1901	<i>Microcerotermes fuscotibialis</i> Sjöstedt, 1896	Xyloph.	DK, ZK	Verger, Parc, Plantation Forestière	Mg, An, Af	[1], [5], [9], [10], [14]	

		<i>*Microcerotermes parvulus</i> Sjöstedt, 1911	Xyloph.	DK, TH, SL	Verger, Savane, Canne-à-sucre	Mg, Cas	[8], [14]
		<i>*Microcerotermes parvus</i> Haviland, 1898	Xyloph.	DK, KL, TK	Verger, Jachère, Parc	Mg	[3], [11], [14]
		<i>*Microcerotermes aff. parvus</i> Haviland, 1898	Xyloph.	DK, TH	Verger	Mg	[14]
		<i>*Microcerotermes aff. solidus</i>	Xyloph.	TH	Verger	Mg	
		<i>Microcerotermes solidus</i> Silvestri, 1912	Xyloph.	DK	Verger, Plantation Forestière	Mg, Af	[6], [14]
		<i>Microcerotermes sp.</i>	Xyloph.	DK	Maraichage	Cm	[6]
		<i>*Microcerotermes spp.</i>	Xyloph.	DK, TH, SL, MT, KL, ZK	Verger, Parc, Ferme, Pâturage, Jachère, Plantation Forestière	Ag, An, Ci, Co, Cr, Go, Gr, Ma, Mg, Or, Pa, Sa, Af	[1], [3], [5], [6], [9], [11], [12], [14]
		<i>Microcerotermes zuluensis</i> Holmgren, 1911	Xyloph.	DK, TH	Verger, Plantation Forestière	Mg, Af	[9], [14]

b) Espèces de termites recensées dans les agrosystèmes fruitiers

Les inventaires réalisés dans différents vergers à travers le Sénégal ont permis de recenser 54 espèces, soit 60 % de l'ensemble des espèces recensées au Sénégal. A l'exception des espèces appartenant aux genres *Apicotermes*, *Pericapritermes*, *Procutitermes*, *Basidentitermes*, *Eremotermes* et *Tuberculitermes*, toutes celles appartenant aux 15 autres genres ont été rencontrées dans les vergers. L'ensemble des 54 espèces recensées sont réparties dans les quatre groupes trophiques. Les termites champignonnistes et les xylophages sont les plus représentatifs dans les vergers. Les espèces appartenant au groupe des humivores ou des fourrageurs sont faiblement représentées dans les vergers avec seulement 9 espèces.

Nos récents inventaires réalisés dans 45 vergers de manguiers ont permis de recenser 34 espèces de termites (Tableau 1) dont une est nouvellement rencontrée (*Amitermes guineensis*). Ndiaye (1998) a recensé 29 espèces dans les vergers répartis dans les localités géographiques de Dakar, Thiès, Saint Louis, Kaolack et Casamance. Les travaux de Han et Ndiaye (1996) dans les vergers de Dakar, ceux de Ndiaye et Han (2000) dans les vergers de Thiès et de Saint Louis et ceux de Ndiaye et Han (2002) dans les vergers de Casamance ont permis de recenser respectivement 11, 8, 19 et 17 espèces de termites.

c) Espèces de termites recensées dans d'autres agrosystèmes

Dans les périmètres reboisés, Roy-Noël et Wane (1977), Roy-Noël (1982), Agbogba (1985), Agbogba et Roy-Noël (1982) et Gueye et Lepage (1988) ont recensé 21 espèces de termites. Ces auteurs ont utilisé la fouille systématique. Les études réalisées dans les savanes de Saint Louis et de Louga (Ferlo Septentrional) par Lepage (1974), dans les zones de pâturage de Matam par Samb et *al.* (2011) et par Diop et *al.* (2013) ont permis de recenser respectivement 19, 16, 14 espèces de termites.

Les études réalisées dans les champs de manioc (Faye et *al.*, 2014), les périmètres maraichers (Han et Ndiaye, 1998) et dans les plantations de canne-à-sucre (Mampouya, 1997) ont permis de recenser respectivement 5 espèces dans chacun des milieux. Par ailleurs, Roy-Noël (1969) a recensé 60 espèces dans le parc de Niokolo Koba, situé entre les localités géographiques de Tambacounda et de Kédougou.

3.3.3. Dégâts des termites sur les essences botaniques associées aux milieux étudiés

Dégâts des termites sur les essences fruitières

Les travaux sur les essences fruitières ont largement contribué à la connaissance des termites ravageurs, leurs modalités d'attaques ainsi que les essences vulnérables (Han et Ndiaye, 1996 ; Ndiaye 1998, Ndiaye et Han, 2000, 2002, 2006). Parmi les 54 espèces de termites ravageurs recensés dans les vergers, 45 sont ravageuses d'arbres fruitiers. L'espèce *Amitermes evuncifer* reste la plus dévastatrice parmi toutes les espèces rencontrées dans les vergers. Les espèces du genre *Microtermes* sont les plus nuisibles sur les jeunes manguiers. Les dégâts les plus importants, pouvant provoquer le dépérissement des manguiers, sont causés par les termites xylophages et les champignonnistes. Les dégâts des termites sont très variables d'une essence fruitière à une autre et dépendraient des pratiques culturales. Selon Han et Ndiaye (1996), le genre *Microcerotermes* est plus fréquent dans les vergers et le taux d'attaque peut atteindre 66,8 %. En revanche aucune attaque n'est observée sur la pomme cannelle. Ndiaye et Han (2000) ont montré que le groupe des xylophages domine à Saint Louis tandis que celui des champignonnistes domine à Thiès. Au niveau de la localité de Saint Louis, le genre *Microcerotermes* est plus fréquent. Les essences attaquées sont : le goyavier (4,8 %), l'anacardier (27,3 %) et le grenadier (62,5 %). L'avocatier, la surelle et la pomme cannelle ne sont pas attaqués. Au niveau de Thiès, le genre *Odontotermes* est dominant dans les vergers. L'anacardier et le manguiers sont plus attaqués avec des taux d'attaques respectifs de 54,4 % et 57,9 %. En revanche aucune attaque n'est observée sur l'avocatier et sur la pomme cannelle. Ndiaye et Han (2002) ont montré en Casamance que les termites xylophages et champignonnistes sont responsables des dégâts observés sur les essences fruitières et les taux d'attaques pouvaient atteindre 82%. L'absence des attaques des termites sur certaines essences fruitières telles que l'avocatier, la pomme-cannelle et la surelle serait liée à la faiblesse des observations (Ndiaye, 1998). L'espèce *Amitermes evuncifer* est décrite comme étant la plus dévastatrice sur les arbres fruitiers (Ndiaye et Han, 2000). L'anacardier, le manguiers et le cocotier restent les essences les plus attaquées. Les taux d'attaques de l'anacardier (76,2 %) dans les vergers sont supérieurs à ceux rapportés par Roy-Noël (1982) et par Agbogba et Roy-Noël (1982) dans les périmètres reboisés et qui varient entre 33 % et 44,3 %. Les dégâts des termites ne sont pas observés sur le papayer (Ndiaye, 1998).

3.3.4. Dégâts des termites dans les plantations forestières

Les espèces responsables des attaques sont *Microcerotermes solidus*, *Microcerotermes aff. parvus*, *Microcerotermes fuscotibialis*, *Odontotermes nilensis* et *Amitermes evuncifer* et *Nasutitermes arborum* (Roy-Noël, 1982 ; Agbogba et Roy-Noël, 1986). L'anacardier est l'espèce végétale la plus attaquée et le taux d'attaque peut atteindre 44 %. Les attaques des espèces *Odontotermes pauperans* et *Odontotermes nilensis* ne sont pas observées sur le gommier des rivières (Agbogba et Roy-Noël, 1986). Les attaques des termites sont beaucoup plus néfastes pour les plants nouvellement mis en place mais ne constituent pas un danger pour les grands arbres (Gueye et Lepage, 1988). Les attaques les plus sévères sur ces jeunes plants sont provoquées par les genres *Odontotermes* et *Microtermes*. Les plus importants dégâts sur les reboisements sont causés par les espèces *Microcerotermes sp* et *Coptotermes sp*. L'espèce *Amitermes evuncifer*, trouvée sur la plupart des arbres fruitiers, est retrouvée sur les Eucalyptus, le filao et l'anacardier (Roy-Noël et Wane, 1977 ; Roy-Noël, 1982 ; Agbogba et Roy-Noël, 1986 ; Agbogba, 1985 ; Gueye et Lepage, 1988).

3.3.5. Dégâts des termites dans les périmètres maraichers, les champs de manioc, les plantations de canne-à-sucre et sur les essences naturelles

Au total, 5 espèces de termites provoquent des dégâts sur 17 cultures maraichères : *Macrotermes subhyalinus*, *Microcerotermes sp*, *Microtermes sp*, *Odontotermes nilensis* et *Psammotermes hybostoma* (Han et Ndiaye, 1998). Les taux d'attaques moyens sont très faibles (moins de 2 %). L'oseille est la plante maraichère la plus attaquée avec un taux d'attaque de 24%. Faye et al. (2014) ont remarqué les dégâts de 5 espèces de termites sur les cultures de manioc. Il s'agit des espèces *Amitermes evuncifer*, *Macrotermes subhyalinus*, *Microtermes lepidus*, *Odontotermes sp. aff. erraticus* et *Psammotermes hybostoma*. Ces espèces causent des dégâts importants sur les boutures de manioc repiquées au champ entraînant ainsi des pertes importantes. Mampouya (1997) a recensé 4 espèces de termites ravageuses de canne-à-sucre. Les espèces *Amitermes evuncifer*, *Ancistrotermes cavithorax* et *Microcerotermes parvulus* causent des dégâts sur les boutures. L'espèce *Trinervitermes trinervius* provoque des dégâts sur les feuilles et les jeunes plants. Les dégâts des termites du genre *Microtermes* sont notés sur les gousses d'arachide en maturité, celles mises en tas dans les champs ou stockées (Sembene, 1998). Au cours de ces études éthologiques, Lepage (1974) a souligné les attaques des termites sur *Commiphora africana*, *Grewia bicolor* et *Guiera senegalensis*.

3.3.6. Rôle des termites

Sarr (1999) et Fall *et al.* (2000) ont montré que les termites constituent la macrofaune principale du sol des jachères de Sonkorong (Kaolack) et de Kolda (Casamance) durant toute l'année. Selon Sarr (1999), les densités des termites sont significativement plus élevées dans la jeune jachère que dans la vieille jachère. Fall *et al.* (2000) quant à lui affirme que la densité totale des termites ne varie pas significativement en fonction de l'âge de la jachère ou de la saison. En revanche il montre que la répartition des groupes trophiques dépend de l'âge de la jachère. Selon Sarr (1999), l'état d'équilibre des populations joue un rôle important sur les mécanismes d'attaque des plantes par les termites. Il a aussi montré que la diversité des niches écologiques, dans les milieux peu perturbés, peut réduire l'effet ravageur des termites. Les termites champignonnistes et les xylophages persistent généralement dans les milieux très dégradés et dans les zones cultivées. Sarr *et al.* (2005) ont montré que la répartition et l'abondance des groupes de termites sont tributaires des conditions climatiques et édaphiques. Certaines espèces ont une large répartition tandis que d'autres sont spécifiques à certaines zones climatiques typiques. En zone de pâturage, la plupart des espèces de termites recensées sont connues pour leur rôle positif dans le recyclage de la matière organique. Diop *et al.* (2013) ont montré que les termites (Isoptères) constituent l'essentiel de la faune impliquée dans la décomposition de la bouse sèche dans les pâturages. Cette activité est beaucoup plus importante juste après la saison des pluies et ne dépend pas de la profondeur d'enfouissement de la bouse.

3.3.7. Influence des activités humaines sur les termites

L'impact des activités humaines sur les termites est également étudié au niveau de la zone de Matam (Samb *et al.*, 2011). Une faible biodiversité des termites est notée du fait de la dégradation du milieu par l'homme. Les espèces *Amitermes evuncifer*, *Psammotermes hybostoma* et *Odontotermes spp* sont retrouvées dans les maisons avec des dégâts mineurs. Diop *et al.* (2013) ont également remarqué une faible biodiversité des termites dans les zones de pâturage.

3.3.8. Gestion des termites dans les agrosystèmes au Sénégal

Les méthodes utilisées dans la gestion des termites au niveau des agrosystèmes sont nombreuses et variées. Il s'agit des méthodes traditionnelles, des méthodes chimiques et des méthodes biologiques.

a) Méthodes traditionnelles

Ce sont l'ensemble des méthodes habituellement utilisées par les arboriculteurs pour limiter les dégâts des termites dans les agrosystèmes.

Au Sénégal, les producteurs utilisent plusieurs méthodes pour lutter contre les termites. Ces méthodes, diverses et variées par leurs modes d'application, présentent toutes des avantages et des inconvénients. Le tourteau de Neem est utilisé comme insectifuge. C'est une méthode peu coûteuse mais le produit a une durée de rémanence courte. Il est appliqué par épandage sur le tronc de l'arbre. L'huile de vidange, dont l'efficacité sur les termites reste à éprouver, constitue une grande source de pollution de l'environnement. Elle est appliquée par badigeonnage sur le tronc de l'arbre. Le lait de chaux ou Oxyde de calcium est également appliqué par badigeonnage sur le tronc de l'arbre. Cette méthode permet de visualiser les attaques des termites sur le tronc mais reste peu ou pas efficace pour lutter contre les termites. Le nettoyage des placages sur le tronc et les branches et l'enlèvement des branches mortes de l'arbre est aussi utilisé. Il permet de limiter les dégâts visibles sur l'arbre, dont ceux causés par *Microcerotermes*, mais n'a d'effet sur les gros dégâts en dessous du tronc et des racines. La destruction physique des nids des termites est une autre méthode qui permet de tuer la reine et sa colonie mais conduit à une perte importante de la biodiversité des termites.

b) Méthodes chimiques

L'efficacité du fipronil dans la lutte contre les termites au niveau des plantations de canne-à-sucre a été montrée (Mampouya, 1997). Les rapports non publiés de la direction de protection des végétaux (DPV) au Sénégal ont montré une efficacité de l'Imidaclopride dans le contrôle des termites sur manguiers. Le Furadan, le Dursban ou le Pychlorax sont aussi utilisés sur manguier et présentent tous une efficacité limitée dans le temps. Le Furadan est pourtant un produit hautement toxique et non homologué sur manguier. Le Pychlorax est détecté et isolé par les termites.

c) Méthodes biologiques

La méthode alimentaire et la méthode de lutte par les entomopathogènes constituent les deux méthodes biologiques préconisées dans la gestion des termites (Han et Ndiaye, 1996). Le *Metarhizium anisopliae* est également utilisé dans la gestion des termites (Han et Ndiaye, 1996). La méthode alimentaire consiste à fournir le bois mort aux termites afin de les détourner des arbres fruitiers. La méthode d'irrigation a également été utilisée pour gérer les termites dans

les agrosystèmes de manguiers (Han et Ndiaye, 1996). La gestion des termites par les extraits botaniques de plantes, les ennemis naturels tels que les fourmis et la gestion par la biodiversité des termites ne sont pas utilisés.

3.4. Discussion

3.4.1. Diversité des termites dans les localités géographiques du Sénégal

Les 90 espèces de termites recensées au Sénégal nous amènent à considérer que les termites constituent un groupe relativement diversifié. La répartition des espèces de termites est tributaire des conditions climatiques et édaphiques. Le fait que le pays soit traversé du nord au sud par quatre zones climatiques (Sahélien, soudano-sahélien, soudanien et guinéen) avec une grande variabilité de la végétation et de la pluviométrie, pourrait expliquer cette diversité. Au niveau de la sous-région, le Sénégal est situé entre une zone équatoriale et une zone sahélienne. Il serait très intéressant de comparer sa diversité en termites à celles des pays limitrophes mais le manque de données sur la diversité en termites de ces pays ne le permet pas. Par contre, en forêt équatoriale du Congo et du Cameroun, Eggleton *et al.* (2002) et Davies *et al.* (1999) ont respectivement recensé une diversité inférieure (80 espèces) et supérieure (110 espèces) à la diversité des termites au Sénégal.

L'examen approfondi des listes de termites recensés lors des études précédentes et aussi la nôtre, nous a permis de noter des difficultés d'identification de certaines espèces de termites appartenant aux genres *Coptotermes*, *Angulitermes*, *Cubitermes*, *Trinervitermes*, *Ancistrotermes*, *Microtermes*, *Odontotermes*, *Eremotermes*, *Amitermes* et *Microcerotermes*. Ces difficultés d'identification des termites ont également été notées par la plupart des auteurs. Par exemple, les espèces appartenant à la famille des Apicotermitinae ont été signalées dans les localités géographiques de Kaolack (Sarr, 1999) et de Kolda (Fall *et al.*, 2000) mais aucune espèce n'a pu être identifiée faute de références. Il est possible que la diversité répertoriée dans cette étude ait été sous-estimée à cause des difficultés liées à l'identification de certaines espèces de termites ainsi qu'à la faiblesse des inventaires dans certaines localités géographiques comme au sud (Casamance), au Nord, au centre et à l'Est du Sénégal.

3.4.2. Diversité des termites dans les agrosystèmes et dans les milieux naturels

Les résultats antérieurs montrent que 53 espèces de termites ont été rencontrées dans les vergers. Nos inventaires réalisés dans les vergers de manguiers nous ont permis de recenser 34 espèces de termites dont une est nouvellement rencontrée (*Amitermes guineensis*). Ndiaye (1998) a recensé 29 espèces dans les vergers répartis dans les localités géographiques de Dakar,

Thiès, Saint Louis, Kaolack et Casamance. En Côte d'Ivoire, une étude des dégâts des termites sur les pépinières de manguiers a permis de recenser 8 espèces de termites (Coulibaly et *al.*, 2014). Les études réalisées dans les champs de manioc (Faye et *al.*, 2014) et les périmètres maraichers (Han et Ndiaye, 1998) ont permis de recenser 5 espèces dans chacun des milieux. Une faible richesse des termites a également été notée en Côte d'Ivoire dans les champs de riz et de maïs avec respectivement 7 et 4 espèces (Akpesse et *al.*, 2008).

Par ailleurs, Roy-Noël (1969) a recensé 60 espèces dans le parc de Niokolo Koba, localité géographique de Tambacounda. La nature du milieu et la technique de récolte pourraient expliquer cette différence avec nos 34 espèces recueillies dans les vergers. En effet, Roy-Noël a non seulement travaillé dans une réserve naturelle (parc) mais a utilisé une fouille exhaustive du sol avec une casse systématique des nids. Dans les périmètres reboisés, Roy-Noël et Wane (1977), Roy-Noël (1982), Agbogba (1985), Agbogba et Roy-Noël (1982) et Gueye et Lepage (1988) ont recensé 21 espèces de termites. Ces auteurs ont utilisé la fouille systématique. La faiblesse des espèces dans les plantations de tecks par rapport au milieu naturel au Togo a été souligné (Gbenyedji et *al.*, 2011). Ces auteurs ont recensés 11 espèces de termites par la fouille systématique le long d'un transect.

3.4.3. Dégâts des termites sur les essences botaniques associées aux milieux

Les résultats montrent que les dégâts des termites champignonnistes et lignivores ont été observés sur plusieurs essences botaniques au Sénégal. L'espèce *Amitermes evuncifer* et le genre *Microtermes* sont respectivement les plus nuisibles sur les arbres fruitiers et sur les jeunes manguiers. Han et *al.* (1998) ont montré que l'espèce *Amitermes evuncifer* était la plus nuisible sur le palmier à huile. En Côte d'Ivoire, Coulibaly et *al.* (2014) ont rapporté que les espèces *Ancistrotermes cavithorax* et *Microtermes sp2* étaient les plus virulentes sur les jeunes pépinières de manguiers. Akpesse et *al.* (2008) ont également rapporté en Côte d'Ivoire les dégâts des termites dans les champs de paysans de riz et de maïs. Les termites du genre *Microtermes* sont plus nuisibles aux cultures du riz et du maïs (Akpesse et *al.*, 2001).

Les dégâts des termites ont été signalés sur les palmiers à huile (Han et *al.*, 1998), sur Cacaoyers (Crolaud et *al.*, 2010), sur Hévéa (Tahiri et Mangué, 2007). Les espèces *Ancistrotermes guineensis* et *Macrotermes subhyalinus* sont les plus nuisibles à la culture d'hévéas. Les termites responsables des dommages causés aux arbres du Campus universitaire de Lomé (Togo) appartiennent aux groupes des xylophages et des champignonnistes (Anani et *al.*, 2010). Les dégâts des termites n'ont pas été observés sur le papayer probablement à cause

de ses propriétés insecticides (Akutse et *al.*, 2012). Dans le monde, les nuisances des termites sur les végétaux vivants ont été signalées (Rouland-Lefèvre, 2011).

3.4.4. Gestion des termites dans les agrosystèmes

Les méthodes de gestion des termites utilisées au Sénégal sont nombreuses. La lutte chimique contre les termites est la plus efficace mais les effets de ces produits sur la santé et l'environnement sont préoccupants (Verma et *al.*, 2009). La lutte chimique a été également utilisée dans plusieurs pays de la sous-région. En Côte d'Ivoire, les traitements chimiques au Régent (Fipronil) par pulvérisation au sol et par traitement des semence ont permis réduire significativement les attaques de termites sur riz et sur maïs (Akpesse et *al.*, 2001). L'efficacité du Chlorpyrifos-éthyl à long terme sur *Macrotermes subhyalinus* a été prouvée sur Hévée (Tahiri et Mangué, 2007). L'Aldrine et le Méthidathion ont été utilisés à différentes doses pour traiter efficacement les replantations des palmiers à huile (Han et *al.*, 1998). Les méthodes traditionnelles de gestion des termites utilisées au Sénégal sont très différentes de celles utilisées par les petits producteurs du Ghana. Akutse et *al.* (2012) ont montré 6 méthodes traditionnelles de gestion des termites au Ghana. Ce sont les applications d'extraits végétaux ; les animaux morts, les crapauds et les intestin de rats ; l'élimination physique de la reine ; l'urine humaine et la volaille. Ces méthodes sont utilisées par les petits producteurs et leur efficacité doit être étudiée. Les méthodes biologiques peu utilisées au Sénégal constituent une véritable alternative aux méthodes chimiques (Verma et *al.*, 2009). En plus des méthodes traditionnelles, Akutse et *al.* (2012) ont montré 12 plantes utilisées dans la gestion des termites dont l'*Azadirachta indica* et *Carica papaya*. En Côte d'Ivoire, les propriétés anti termites des extraits aqueux de *Calotropis procera* ont été montrées (Tahiri, 2012 ; Coulibaly et *al.*, 2014).

3.5. Conclusion et perspectives

Les recherches menées au Sénégal depuis 50 ans ont permis de recenser 90 espèces de termites dont 54 sont rencontrées dans les vergers. Il est toutefois fort possible que la diversité des termites soit encore sous-évaluée. L'utilisation de la taxonomie moléculaire des termites au Sénégal doit être valorisée afin d'améliorer la connaissance de sa biodiversité en termites.

Les termites constituent un véritable fléau sur plusieurs essences botaniques au Sénégal. Les producteurs utilisent plusieurs méthodes pour lutter contre les termites parmi lesquelles les méthodes chimiques sont de loin les plus efficaces. Les méthodes traditionnelles utilisées par les producteurs africains pour la gestion des termites semblent varier d'un pays à un autre (Akutse et *al.*, 2012). Les extraits aqueux sont par exemple peu utilisés au Sénégal et doivent

être promus. La mise en place de méthodes alternatives à l'utilisation des pesticides nécessite au préalable une meilleure connaissance de la biodiversité des termites dans les agrosystèmes. L'étude de la biodiversité des fourmis initiée dans ces vergers (Diame et *al.*, 2015) offrirait des possibilités de lutte biologique par les fourmis prédatrices dont l'activité a été notée (Yusef et *al.*, 2013 ; Yusef et *al.*, 2014). La connaissance des facteurs influençant la biodiversité des termites permettrait de mettre en place d'autres méthodes de gestion des termites à partir des pratiques de gestion des vergers.

Chapitre 4 : Caractérisation des agro-écosystèmes

Ce chapitre est rédigé sous la forme d'un seul article publié dans la revue *Fruits*. Il présente les caractéristiques des agrosystèmes à base d'arbres fruitiers au Sénégal. Autrement dit, ce travail s'intéresse à la conception et aux pratiques de gestion des vergers, les caractéristiques de la végétation des arbres, la composition des haies et les infestations des fruits par *Bactrocera invadens* (*B. dorsalis*) en rapport avec la typologie des vergers.

ARTICLE 2

AGROSYSTEMES A BASE DE MANGUIERS AU SENEGAL: DIVERSITE DES
CONCEPTIONS ET DES MODES DE GESTION

Isabelle GRECHI¹, Cheikh Amet Bassirou SANE², Lamine DIAME³, Hubert DE BON⁴, Aurore BENNEVEAU⁵,
Thierry MICHELS⁶, Virginie HUGUENIN⁷, Eric MALEZIEUX⁸, Karamoko DIARRA⁹, Jean-Yves REY¹⁰

Publié le 20 Juin 2013 dans la revue *Fruits*

Résumé. Introduction. Les vergers à base de manguiers au Sénégal se rencontrent sous une grande diversité de systèmes de culture. Cependant, peu de typologies de ces systèmes existent et aucune n'est associée à une analyse exhaustive et quantitative. Dans cette étude, nous avons défini et caractérisé la typologie de ces systèmes sur la base d'une évaluation quantitative de leur conception, de leur mode de gestion, de leur état végétatif, de la structure de leurs haies et de leur infestation par un ravageur important du manguiers, la mouche *Bactrocera dorsalis*. **Matériel et Méthodes.** Des méthodes d'analyse multivariée et de classification ont été appliquées sur des données provenant de 64 vergers à base de manguiers et de leurs haies environnantes, échantillonnés dans les régions de Thiès et de Dakar, au Sénégal. **Résultats et Discussion.** Quatre types de systèmes de cultures ont été identifiés selon des modèles de conception et de gestion du verger : (1) « Vergers de manguiers diversifiés sans intrants », (2) « Vergers de manguiers diversifiés à faible intrants », (3) « Vergers à *Citrus* prédominant avec un niveau intermédiaire d'intrants » et (4) « Grands vergers de manguiers ou de *Citrus* prédominants avec un niveau intermédiaire d'intrants ». Les caractéristiques des vergers ont varié entre les types de systèmes. Par exemple, la végétation était dense et homogène dans le système 1. Le taux de mortalité était élevé dans le système 2 mais faible dans le système 3. Les vergers des systèmes 3 et 4 étaient principalement associés à des haies avec respectivement des espèces de bornage et des espèces défensives. Enfin le nombre de mouche de *B. dorsalis* était élevé dans les vergers du système 4 alors qu'il était faible dans ceux du système 2. **Conclusion.** La diversité des systèmes de culture à base de manguiers au Sénégal est maintenant bien décrite et quantifiée. Cette caractérisation est une étape préliminaire indispensable pour poursuivre des études visant à améliorer ces systèmes.

Mots clés : Sénégal / *Mangifera indica* / arbre fruitier / verger / typologie / conception / pratique / *Bactrocera dorsalis* / haie / analyse multivariée

Abstract

Introduction. Mango-based orchards in Senegal occur in a large diversity of cropping systems, but few typologies of these systems exist and none are associated with their comprehensive analysis. In this study we identified and characterized the typology of their systems based on a quantitative assessment of their planting design, management and vegetative state, hedgerow structure and infestation by a major pest mango, the *Bactrocera dorsalis* fly. **Materials and methods.** Multivariate analysis and clustering methods were applied to data from 64 mango-based orchards and their surrounding hedgerow sampled in the Dakar and Thiès regions, in Senegal. **Results and discussion.** Four types of cropping systems were identified according to orchard design and management patterns: (1) ‘No-input mango diversified orchards’, (2) ‘Low-input mango orchards’, (3) ‘Medium-input citrus-predominant orchards’ and (4) ‘Medium-inputs large mango- or citrus-predominant orchards’. Orchard characteristics varied among these patterns. For instance, vegetation was dense and homogeneous in system 1 and mortality rate of trees was high in system 2 but low in system 3. Orchards of system 3 and 4 were mostly associated with hedgerows with, respectively, boundary-marking and defensive species. Lastly, the number of *B. dorsalis* flies was high in orchards of system 4, whereas it was low those of system 2. **Conclusion.** The diversity of mango-based cropping systems in Senegal is now well described and quantified. This characterization is a preliminary step that is essential for further studies aiming to improve these systems.

Keys words: Senegal / *Mangifera indica* / fruit trees / orchards / typology / design / crop management / *Bactrocera dorsalis* / hedges / multivariate analysis

4.1.Introduction

La culture de la mangue (*Mangifera indica L.*) pour la consommation locale, les marchés nationaux ou régionaux et les exportations intercontinentales s'est élargie en Afrique de l'Ouest au cours du XX ième siècle (Rey et *al.*, 2006 ; Rey et Dia, 2010). La production annuelle sénégalaise a atteint les 100 000 tonnes (Rey et Dia, 2010 ; FAOSTAT, 2012). Bien que les exportations intercontinentales représentent une faible proportion, leur impact économique et social est très élevé (Rey et *al.*, 2006 ; Rey et Dia, 2010). Au cours de ces dix dernières années, les exportations sénégalaises, principalement vers l'Europe (Rey et Dia, 2010 ; Gerbaud, 2014), ont augmenté allant jusqu'à 8 000 tonnes. Toutefois, au cours de ces dix dernières années, une nouvelle espèce envahissante *Bactrocera dorsalis* (Vayssières et *al.*, 2005 ; Ouédraogo et *al.*, 2011 ; Vayssières et *al.*, 2011) est devenue l'un des ravageurs les plus destructeurs de la mangue (Rey et Dia, 2010). Une maladie de la malformation de la mangue, signalée au sud du Sénégal (Senghor et *al.*, 2012), pourrait devenir une autre menace sérieuse pour la production de mangues. Le secteur de la mangue au Sénégal a un potentiel de développement élevé, mais une amélioration des systèmes de cultures à base de manguiers est nécessaire pour augmenter la production et réduire les irrégularités de la production. Les systèmes de cultures à base de mangue dans les pays de l'Afrique de l'Ouest sont très variés en ce qui concerne la cueillette au niveau des vergers plurispécifiques aux vergers monospécifiques intensifs (Vannière et *al.*, 2007 ; Vayssières et *al.*, 2008 ; Rey et Dia, 2010 ; Vayssières et *al.*, 2011 ; Ndiaye et *al.*, 2012). Même si cette diversité est généralement connue, une connaissance approfondie des systèmes actuels et leur fonctionnement font encore défaut pour les parties prenantes concernant l'amélioration de la production de la mangue sénégalaise.

Les pratiques agronomiques et la composition variétale des vergers contribuent largement à la diversité des systèmes de culture de mangues observés en Afrique de l'Ouest (Vannière et *al.*, 2007). La plupart des études réalisées sur la production de mangues en Afrique se concentrent uniquement sur un élément du système de culture tel que le choix d'une variété, de l'irrigation (Pavel et *al.*, 2004 ; Spreer et *al.*, 2009), l'amincissement (Yeshitela et *al.*, 2003) ou la lutte anti-parasitaire (Mwatawala et *al.*, 2008 ; Kaul et *al.*, 2009 ; Vayssières et *al.*, 2009) et son impact sur les manguiers. Par exemple, l'irrigation a été montrée pour influencer la croissance végétative des manguiers (Pavel et *al.*, 2004). L'approche typologique est souvent utilisée dans les études visant à saisir la diversité des systèmes de culture. Elle a été utilisée dans les systèmes horticoles pour les agroforestiers à base de cacao, la pomme, la banane et les productions d'agrumes etc. (Nesme et *al.*, 2003 ; Blazy et *al.*, 2009 ; Le Bellec et *al.*, 2011 ;

Deheuvels et *al.*, 2012). Sur la production de mangues, seules quelques études ont décrit des caractérisations du système, qui a porté essentiellement sur le niveau d'intensification des systèmes de culture (Vayssières et *al.*, 2008 ; Vayssières et *al.*, 2011) et de la composition des vergers (Ndiaye et *al.*, 2012). Vayssières et *al.* (2008) ont identifié 4 systèmes de culture en Afrique de l'Ouest : « système de production de cueillette », « systèmes de production sous amélioration », « systèmes de culture plus intensifs » et « grands vergers industrialisés ». Dans d'autres études menées dans la région des Niayes au Sénégal, Vayssière et *al.* (2011) ont simplement fait une distinction entre les « vergers mixtes (pluri-spécifiques) » et les « vergers homogènes (mono-spécifiques) » tandis que Ndiaye et *al.* (2012) ont différencié les « vergers modernes (intensifs) » et les « vergers traditionnels » etc. Toutefois, ces approches ne sont pas basées sur une analyse complète et quantitative des deux conceptions des vergers issues du choix de plantation des agriculteurs et des pratiques agricoles utilisées pour la gestion du verger actuel. En outre, ils ne tiennent pas compte d'autres éléments du fonctionnement du système tel que l'état végétatif du verger qui pourrait être lié à des choix techniques de la conception et de la gestion du verger.

Les vergers peuvent être entourés d'une haie qui est un autre élément de choix de l'encadreur technique. Leur rôle et les interactions avec les vergers ont été beaucoup étudiés dans les pays développés, mais très peu dans le cas des vergers Sénégalais. Les haies ont des fonctions différentes : la protection contre les voleurs, les animaux domestiques ou errants, les brise-vents et la fourniture de graines comestibles, des fruits, du bois etc. (Vannière et *al.*, 2007). Nous pensons que la présence des haies et leurs caractéristiques structurelles pourraient être liées à des choix techniques de conception et de la gestion des vergers dans le cadre de la stratégie globale de production des agriculteurs.

Les haies peuvent avoir un effet sur la biodiversité et l'abondance des arthropodes dans les vergers (Baudy et *al.*, 2000 ; Simon et *al.*, 2010). Par exemple, elles peuvent affecter la distribution spatiale des communautés d'arthropodes dans les vergers de poiriers (Debras et *al.*, 2008), réduire les populations de Carpocapses (*Cydia pomonella*) dans les vergers de pommiers (Recci et *al.*, 2011) et réduire l'infestation par les mouches des fruits dans les vergers de manguiers (Aludja et Birke, 1993). La structure à base de la végétation du verger fournit des habitats pérennes et multi-strates qui peuvent également contribuer à maintenir les populations d'arthropodes diversifiées (Simon et *al.*, 2010). Par exemple, la litière des feuilles peut augmenter la diversité des arthropodes (Yee et *al.*, 2001 ; Longcore, 2003 ; Midega et *al.*, 2008). Les arbres fruitiers autour et dans les vergers fournissent des substrats de ponte alternatifs pour

les mouches des fruits. Cependant, la qualité et la quantité des substrats fournies sont liées aux espèces d'arbres fruitiers et des cultivars de mangues, car ils ont montré des différences dans les périodes de maturation des fruits, ainsi que différents niveaux de sensibilité aux mouches des fruits (Ndiaye et *al.*, 2012). En outre, le blocage et la densité de la canopée sont les deux facteurs qui influent sur le microclimat du verger, tels que l'ombrage, l'intensité lumineuse, la température ambiante et l'humidité relative, connu pour affecter la distribution des mouches des fruits (Aludja et Birke, 1993) ou des troubles physiologiques et des maladies fongiques (anthracnose) (Vannière et *al.*, 2007). Enfin, il est probable que l'état phytosanitaire du verger, y compris l'infestation du verger par la mouche des fruits, varient entre les systèmes de culture, en fonction non seulement des pratiques de lutte anti parasitaire, mais aussi en fonction de la composition structurelle et de l'état végétatif des vergers et des haies.

Sur la base de ces principales composantes techniques, nous avons retenu comme premier objectif de caractériser la gamme de la diversité de ces systèmes de culture à base de manguiers Sénégalais concernant chaque élément du système (conception du verger, pratiques de gestion du verger, infestation du verger par *B. dorsalis* et la structure de la haie) indépendamment. Le second consiste à classer ces systèmes en groupes avec des motifs similaires concernant le choix technique de conception et de gestion des vergers. Le troisième est d'évaluer dans quelle mesure les caractéristiques des systèmes relatifs à l'état végétatif des vergers, à la structure des haies et l'infestation des vergers par *B. dorsalis* dépendent de ces modèles de conception et de gestion des vergers.

4.2. Matériel et méthodes

4.2.1. Zone d'étude et échantillonnage des vergers

L'étude s'est réalisée dans les régions de Thiès et de Dakar, au Sénégal. Ces deux régions sont caractérisées par des aérosols ferrallitiques et un climat sahélien avec une pluviométrie monomodale (600 à 750 mm par an entre 2008 et 2012). Dans la zone d'étude, 64 vergers d'au moins 5 % de manguiers et d'accès facile ont été échantillonnés au hasard autour de 4 localités : Notto, Sébikotane, Pout, et Pékou. Dans cette étude, nous avons défini les systèmes de culture comme étant les vergers au sens strict avec le pâturage, les légumes cultivés dans les vergers et la composition des haies autour des vergers.

4.2.2. Collecte des données

Les systèmes de cultures ont été décrits avec 42 variables. Les variables ont été classées en 5 groupes (Tableau 2). Les 64 systèmes de culture ont été décrits avec des variables du groupe de la « conception du verger », de celles de la « gestion du verger » et de celles de « l'état végétatif des arbres ». Les variables du groupe de « l'infestation du verger » et de celles de la « structure de la haie » étaient disponibles uniquement sur un sous-échantillon de 54 vergers échantillonnés autour de Notto, Sébikotane et Pout. L'ensemble des données pour les 42 variables ont été recueillies d'Avril à Septembre 2010.

Tableau 2 : Variables et sous-variables utilisées pour caractériser les systèmes de cultures : définitions, moyenne, écart-type (SD), Minimal (Min) et les valeurs maximales (Max) calculés sur l'échantillon des vergers (n représente le nombre de vergers dans l'échantillon).

Sub-groups	Variables	Definition (unit)	Mean±SD	[Min-Max]
Group 1. Orchard design ($n = 64$):				
Acreage	<i>Acreage</i>	Orchard acreage (ha)	3.70±4.48	[0.30-22.9]
Density	<i>Density</i>	Mean local planting density of trees(ha^{-1}) ^(a)	455±356	[140-2387]
DensityCV	<i>DensityCV</i>	Coef. of variation of the local planting densities of trees ^(a)	0.54±0.45	[0-1.93]
Species	<i>Species</i>	Number of tree species	3.67±2.41	[1-10]
Cultivar	<i>Cultivar</i>	Number of mango cultivars	2.25±1.07	[1-5]
%Species		Orchard composition in tree species ^(a)		
	<i>Mango</i>	% of trees of mango species	64.3±34.7	[5-100]
	<i>Orange</i>	% of trees of orange species	7.9±12.0	[0-52]
	<i>Grapefruit</i>	% of trees of grapefruit species	11.2±19.9	[0-94]
	<i>Mandarin</i>	% of trees of mandarin species	10.8±15.2	[0-59]
	<i>Lemon</i>	% of trees of lemon species	1.8±4.2	[0-25]
	<i>Papaya</i>	% of trees of papaya species	1.7±4.7	[0-27]
	<i>Guava</i>	% of trees of guava species	0.3±1.0	[0-5]
	<i>OtherFruit</i>	% of trees of less frequent species ^(b)	1.8±4.7	[0-29]
%Cultivar		Orchard composition in mango tree cultivars ^(a)		
	<i>Kent</i>	% of mango trees of cv. Kent	58.5±37.4	[0-100]
	<i>Keitt</i>	% of mango trees of cv. Keitt	5.4±14.6	[0-68]
	<i>BDH</i>	% of mango trees of cv. Boucodiékhhal (BDH)	27.8±36.9	[0-100]
	<i>DBG</i>	% of mango trees of cv. Dieg bou gatt (DBG)	2.5±7.3	[0-50]
	<i>Sewe</i>	% of mango trees of cv. Séwé	2.6±6.3	[0-24]
	<i>OtherMango</i>	% of mango trees of less frequent cultivars ^(b)	3.2±13.3	[0-100]

Group 2. Orchard management ($n = 64$)^(c):

Pasture	<i>Pasture</i>	Level of secondary use of the orchard for pasture by ruminants	0.72±0.88	[0-2]
OtherCrop	<i>OtherCrop</i>	Level of secondary use of the orchard for cultivation of associated food or vegetable crops	0.59±0.50	[0-1]
Irrigation	<i>Irrigation</i>	Irrigation intensity based on the amount of water supplied and mechanization level	0.95±0.80	[0-2]
SoilCare	<i>SoilCare</i>	Shallow tillage and/or mechanical weeding for soil care	0.92±0.28	[0-1]
Pesticide	<i>Pesticide</i>	Application frequency of natural or synthetic pesticides	1.29±1.10	[0-3]
Fertilization	<i>Fertilization</i>	Fertilization intensity based on the amount and form of N supplied	1.52±1.13	[0-3]
FruitPicking	<i>FruitPicking</i>	Picking up frequency of fallen fruits for preventive fruit fly control	0.56±0.70	[0-2]

Group 3. Orchard vegetative state ($n = 64$)^(d):

Mortality	<i>Mortality</i>	Mortality rate of trees	0.16±0.19	[0-0.76]
Height	<i>Height</i>	Mean height of living trees(m)	4.83±2.00	[1.32-10.6]
Vigor	<i>Vigor</i>	Mean vigor index of living trees	2.89±0.55	[1.82-4.75]
Cover	<i>Cover</i>	Mean local ground covering of trees (%) ^(a)	31.0±17.2	[4.0-83.1]
Litter	<i>Litter</i>	Mean litter abundance index of trees	1.26±0.37	[0.48-2.18]
HeightCV	<i>HeightCV</i>	Coef. of variation of the heights of living trees	0.48±0.24	[0.17-1.30]
CoverCV	<i>CoverCV</i>	Coef. of variation of the local ground coverings of trees ^(a)	1.13±0.58	[0.34-3.55]

Group 4. Orchard infestation ($n = 54$):

FruitFly	<i>FruitFly</i>	Mean number ($\times 10^{-3}$) of males <i>B. invadens</i> fly species trapped per pheromone trap during 20 consecutive weeks	7.50±3.39	[1.09-17.8]
----------	-----------------	---	-----------	-------------

Group 5. Hedgerow structure ($n = 54$):

Hedge	<i>Hedge</i>	% of orchard perimeter planted with hedgerow	72.3±33.4	[0-100]
HedgeSpecies	<i>HedgeSpecies</i>	Number of tree and shrub species in the hedgerow	6.22±3.72	[0-15]

HedgeCover	<i>HedgeCover</i>	Total hedgerow ground covering (%) by trees and shrubs ^(a)	71.3±41.6	[0-156]
%Use		Composition of hedgerow ground covering in species utilities ^(a)		
	<i>Use₁</i>	% of total hedgerow ground covering by boundary marking species	39.3±33.4	[0-100]
	<i>Use₂</i>	% of total hedgerow ground covering by defensive species	38.0±32.6	[0-95]
	<i>Use₃</i>	% of total hedgerow ground covering by fuel wood or timber species	17.0±15.5	[0-71]
	<i>Use₄</i>	% of total hedgerow ground covering by productive species (food, dyeing or medical use)	2.4±4.4	[0-14]
	<i>Use₅</i>	% of total hedgerow ground covering by fruit species	3.5±6.0	[0-25]

^(a) Details on the variable definition and calculation are given in Appendix A

^(b) Less frequent mango cultivars are ‘Amélie’, ‘Greffal’, ‘Papaye’ and ‘Pêche’; less frequent tree species are avocado, cashew, banana, attie, soursop, sapote, kumquat, cherry, coconut and palm trees.

^(c) Modalities of the variables that describe the level of use of the management practices are defined in the followings. *Pasture* modalities were 0: not used, 1: occasional, 2: frequent (daily to once a week). *OtherCrop* modalities were 0: not used, 1: used (cultivated food and vegetable crops were e.g. maize, cowpea, onion, tomato, cabbage, chili pepper, etc.). *Irrigation* modalities were 0: not used, 1: moderate (≤ 200 l/tree/week, manual irrigation only), 2: high (> 200 l/tree/week, manual or mechanized drip- or micro-spray irrigation). *SoilCare* modalities were 0: not used, 1: used. *Pesticides* modalities were 0: not used, 1: occasional (1 to 2 times a year), 2: regular (3 to 5 times a year), 3: frequent (> 5 times a year). *Fertilization* modalities were 0: not used, 1: moderate (< 0.5 kg N/tree/year) with organic N only, 2: moderate (< 0.5 kg N/tree/year) with both organic and chemical N, 3: high (≥ 0.5 kg N/tree/year). *FruitPicking* modalities were 0: not used, 1: occasional (\leq once a week), 2: frequent ($>$ once a week).

^(d) Modalities of the variables that describe the tree vigor and litter abundance are defined in the followings. *Vigor* modalities for living trees were 1: tree is almost dead with no leaves, 2: much of the branches are dried and without leaves, foliage is partly brown, 3: some branches are dried and without leaves, foliage is green, 4: some branches are dried at their end, foliage is green, 5: no dried branches, foliage is very green and bright (for died trees modality was 0). *Litter* modalities were 0: low ($< 10\%$ of ground covered by leaves and pruning residues), 1: moderate (10-50%), 2: high (50-90%), 3: very high (90-100%).

4.2.3. Variables du groupe de la ‘conception des vergers’

Ces variables décrivent la façon dont le producteur a conçu son verger (Tableau 2a). Les vergers ont été localisés sur les images satellites datant de 2002 à 2009 et leurs superficies ont été estimées par traitement d'image. D'autres variables ont été calculées à partir de mesures effectuées individuellement sur tous les arbres du verger (qu'ils soient vivants ou morts) ou sur 100 arbres échantillonnés de façon aléatoire si leur nombre dépasse 100 arbres.

4.2.4. Variables du groupe des ‘pratiques de gestion des vergers’

Ces variables décrivent les pratiques de gestion annuelle appliquées par l'agriculteur dans l'entretien du verger (Tableau 2b). Elles ont été décrites en tant que variables qualitatives ordinales dont les modalités varient de 2 à 4. En règle générale, plus la valeur de la modalité est élevée, plus le niveau d'utilisation de la pratique augmente. La valeur de la modalité 0 signifie que la pratique n'est pas appliquée dans le verger. Les modalités ont été définies et leurs valeurs ont été attribuées aux vergers à partir des données recueillies lors de l'entretien avec les producteurs.

4.2.5. Variables du groupe de la ‘végétation des vergers’

Ces variables décrivent l'état actuel des arbres et de la végétation de fond dans le verger (Tableau 2c). Elles ont été calculées à partir de mesures effectuées individuellement à l'échelle de l'arbre sur un échantillon d'arbre défini dans la section 3.2.2. Pour les variables de la vigueur et de la hauteur, seuls les arbres vivants ont été considérés. Le revêtement local du sol décrit la proportion de couverture de la surface au sol. La litière est composée de feuilles mortes et de résidus d'élagage sur le terrain. La vigueur de l'arbre et la litière ont été définies comme étant des variables ordinales avec respectivement 5 et 4 modalités. La valeur de chacune des modalités a été affectée à des arbres sur la base des estimations visuelles.

4.2.6. Variable du groupe de ‘l'infestation des vergers’

L'abondance relative des mouches des fruits en particulier *Bactrocera dorsalis* (ex *B. invadens*) dans les vergers (Tableau 2d) a été évaluée pendant la saison des pluies à l'aide de pièges sexuels à base de phéromones suivant le protocole décrit dans (Vayssières et al., 2005). Les pièges contiennent le méthyl eugénol, une paraphéromone qui attire uniquement les mâles des espèces de *B. dorsalis*. Il y avait environ 3 pièges par vergers (ce nombre peut toutefois varier de 2 à 6 selon la taille du verger). Les pièges ont été suspendus sur les arbres et mis en place sur une distance de 40 mètres les uns des autres. Ces pièges sont contrôlés toutes les semaines. A chaque date de surveillance, les mouches capturées ont été retirées des pièges puis

comptées. La période de piégeage a duré 20 semaines consécutives, à mi-Avril à Septembre 2010. Cette période couvre entièrement la saison de fructification de la mangue (Ndiaye et *al.*, 2012).

L'abondance et la composition des espèces végétales constituant les haies entourant les vergers ont été décrites. Ces espèces végétales ont été définies sur la base d'estimations visuelles.

4.2.7. Variables du groupe de la 'structure de la haie'

Ces variables décrivent la présence, l'abondance et la composition de la partie vivace de la haie entourant le verger. Elles ont été définies en fonction des estimations visuelles (par exemple, le pourcentage de la haie du verger planté sur son périmètre) et des données recueillies à partir de relevés floristiques des haies (Arbonnier, 2002). Au moment de l'enquête, les strates herbacées des haies étaient presque absentes. Ce sont donc les espèces d'arbres et d'arbustes qui ont été interrogées. Chaque espèce inventoriée a été classée dans l'une des cinq classes de services publiques définies par Yossi et *al.* (2006) (Tableau 2e) et a été attribuée par un revêtement moyen de sol, suivant la méthodologie de Bouzillé (2007). Ces valeurs ont été utilisées pour calculer la surface totale de la bordure de la haie couvrant le sol et le revêtement des bordures de la haie par les espèces d'arbres et d'arbustes utilitaires. Une valeur de couverture totale de la bordure de la haie supérieure à 100 % indique une superposition des couches.

4.2.8. Méthodes d'analyses

a) Caractérisation de la diversité des systèmes de culture au Sénégal

La gamme de la diversité des systèmes de culture en ce qui concerne chacun des cinq groupes de variables a été caractérisée sur la totalité de l'échantillon des vergers en utilisant les statistiques descriptives et l'analyse multivariée. Les deux groupes des «pratiques de gestion» et de «l'état de la végétation des vergers» ont été analysés à l'aide de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) normalisée alors que ceux de la «conception du verger» et de la «structure de la haie» ont été analysés à l'aide de l'Analyse Factorielle Multiple (AFM) standardisée. Les groupes de la «conception du verger» et de la «structure de la haie» ont été structurés en sous-groupes composés soit de plusieurs variables (à savoir le pourcentage en espèces, le pourcentage de cultivars et le pourcentage d'utilisation) ou d'une seule variable (Tableau 2a et 2e). L'AFM est une méthode spécifique dédiée à l'analyse de ces ensembles de données, car elle équilibre l'influence de chaque groupe de variables en tenant compte de la structure des données (Lê et *al.*, 2008 ; Husson et *al.*, 2011).

b) Construction de la typologie des systèmes de cultures à base de manguiers

Une typologie des systèmes de culture basée sur la conception et les pratiques de gestion des vergers a été construite en utilisant la totalité de l'échantillon des vergers. D'abord, une analyse hiérarchique multifactorielle standardisée (AHMF) a été effectuée sur les groupes des variables de la « conception du verger » et des « pratiques de gestion des vergers » (Tableau 2a et 2b). L'AHMF représente la structure hiérarchique des variables d'équilibrage de l'influence de chaque groupe et de sous-groupe de variables dans l'analyse (Lê et *al.*, 2008). Ensuite, une Classification hiérarchique agglomérative (CHA) (Husson et *al.*, 2011) a été réalisée sur les principales composantes de l'AHMF, avec la distance métrique euclidienne et le critère d'agglomération de Ward. Un diagramme de l'arbre hiérarchique, qui fournit une condensation visuelle des résultats de la classification, a été obtenu et utilisé pour déterminer le niveau de regroupement. La partition a finalement été consolidée avec l'algorithme K-means. En outre, une typologie des haies interrogée dans le périmètre du verger a été construite en utilisant les variables du groupe de la « structure des haies » dans le sous-échantillon de 54 vergers. La méthodologie décrite ci-dessus a été utilisée, sauf qu'une CHA a été réalisée sur les principales composantes d'une AFM normalisée. Les « groupes de vergers » et les « groupes de haies » obtenus regroupent respectivement l'ensemble des systèmes de culture présentant des modèles de conception et de gestion des vergers similaires et des motifs structuraux similaires des bordures de haies.

c) Caractérisation des principaux systèmes de cultures à base de manguiers

Les « groupes de vergers » obtenus ont été décrits par les variables « actives », à savoir celles utilisées pour effectuer le regroupement, ainsi que les variables « illustratives » (également appelées « complémentaires »). Ce sont les variables relatives au verger, à l'état végétatif, au motif structurel des haies (à savoir les « groupes de haies ») et l'infestation des vergers par *B. dorsalis*. Les variables « illustratives » n'ont pas participé à la classification, mais elles ont été utilisées a posteriori pour caractériser les groupes obtenus. Les groupes des variables « actives » et des variables « illustratives » qui caractérisent le mieux les groupes ont été identifiés et classés en fonction du critère v-test (Lê et *al.*, 2008 ; Husson et *al.*, 2011), avec un α de niveau de signification $P = 0,05$. Pour une variable x quantitative et sous l'hypothèse nulle selon laquelle la moyenne (\bar{x}_q) dans la grappe q est égale à la moyenne globale (\bar{x}), le v-test est calculé comme suit:

$$v\text{-test} = \frac{\bar{x}_q - \bar{x}}{\sqrt{\frac{s^2}{n_q} \left(\frac{n - n_q}{n - 1} \right)}}$$

Où n_q désigne le nombre de vergers en grappe q , n le nombre total de vergers et s l'écart type de x pour tous les vergers. Le nombre n était de 64 vergers à l'exception du groupe de «l'infestation des vergers» et de celui des variables du groupe de « la structure des haies » pour lesquels n était 54. Plus la valeur absolue du v -test est élevée, mieux la variable x caractérise les vergers en grappe q . Le signe de la v -test indique que la moyenne dans le cluster q est plus faible (si $v\text{-test} < 0$) ou plus élevée (si $v\text{-test} > 0$) que la moyenne globale. Le v -test est également défini pour les variables catégorielles et teste l'hypothèse nulle du nombre de vergers pour lesquels la variable prend une catégorie j est le même dans le cluster q (n_{jq}) et dans l'échantillon global (n_j) (voir l'annexe A).

Toute l'analyse des données et des graphiques a été réalisée avec R, la version du logiciel R 2.12.1 (R Development Core Team, 2010). Pour l'analyse multivariée le package FactoMineR (version 1.16) a été utilisé.

4.3. Résultats

4.3.1. Diversité des systèmes de culture à base de manguiers au Sénégal

La statistique descriptive des 42 variables est indiquée dans le tableau 1. Les résultats de l'analyse de plusieurs variables sont décrits. :

a) Variabilité de la densité de plantation

Les deux premières dimensions de l'AFM ont expliqué respectivement 26,1 et 12,9 % de la variabilité totale de la conception de plantation des vergers (Figure 9A). La première dimension exprime la variabilité de la densité de plantation, le nombre d'espèces fruitières et la composition des arbres du verger. Dans l'ensemble, 17 espèces d'arbres fruitiers ont été identifiées dans les vergers échantillonnés : manguiers, pamplemoussier, mandarinier, oranger, citronnier, papayer, goyavier ainsi que d'autres espèces moins fréquentes (Tableau 2a). Il y avait 20 vergers de manguiers mono-spécifiques et 44 vergers mixtes (vergers ayant au moins une espèce fruitière autre qu'un manguiers). Dans les vergers mixtes, les espèces fruitières autres que les manguiers sont représentées à 51,9 % des arbres en moyenne. Les essences les plus représentées sont respectivement le pamplemoussier (16,3 % des arbres), le mandarinier (15,7 %) et l'oranger (11,5 %). La densité locale de plantation des arbres varie de 140 à 387 arbres / ha en moyenne mais dépasse 1000 arbres / ha dans 2 vergers. Les vergers avec une forte

proportion de manguiers, une faible proportion d'agrumes, une faible diversité des manguiers et des densités de plantation faible et régulière se sont opposés aux vergers hétérogènes avec des caractéristiques opposées et une composition globale élevée en orangers, en pamplemoussiers et en papayers. La deuxième dimension de l'AFM a exprimé la variabilité de la superficie des vergers et la composition des cultivars de manguiers. Dans l'ensemble, neuf cultivars ont été identifiés dans les vergers échantillonnés, les plus fréquents étant la Kent, la Keitt, le Boucodiékhal (BDH), le Dieg bou gatt (DBG) et le Séwé (Tableau 2). Il y a 45 vergers constitués de plus d'un cultivar de manguiers. La plupart d'entre eux avaient 2 ou 3 cultivars de mangues différentes. Le Kent était le cultivar le plus important (58,5 % des arbres), suivi de BDH (27,8 %) (Tableau 2). Les vergers composés de cultivar de Kent sont opposés principalement aux vergers composés de cultivar de BDH. La superficie des vergers varie entre 0.3 à 23 ha mais reste inférieure ou égale à 5 ha dans 80 % des vergers. Les vergers avec les plus importantes superficies sont constitués essentiellement du cultivar de Kent. Il n'y a pas de corrélation entre la superficie et la composition spécifique sur les vergers échantillonnés.

ceux qui ont un niveau de gestion global faible. Parmi les vergers échantillonnés, 66 % sont irrigués, 67 % sont traités et 74 % sont fertilisés. Les pratiques d'entretien du sol ont été appliquées dans presque tous les vergers (92 %). Les cultures vivrières et des légumes sont cultivées en association avec les arbres dans près de 50 % des vergers. La deuxième dimension de l'ACP oppose les vergers pour lesquels la fréquence de pâturage par les ruminants a été plus élevée par rapport à ceux qui ne subissent pas de pâturage. Le pâturage est pratiqué dans 44 % des vergers. Sa présence semblait être indépendante de la présence des autres pratiques de gestion des vergers. L'assainissement ou le ramassage des fruits tombés est pratiqué dans 44 % des vergers. Cette pratique n'a contribué que partiellement aux deux premières dimensions de l'ACP et la fréquence de l'assainissement du verger a été légèrement corrélée au niveau d'utilisation des autres pratiques de gestion.

c) Variabilité de l'état végétatif des vergers

Les deux premiers axes de l'ACP ont exprimé respectivement 45,1 et 25,4 % de la variabilité totale de l'état végétatif des vergers (Figure 9C). La première dimension exprime les vergers pour lesquels la couverture du sol et la hauteur des arbres étaient faibles et très variables. Les vergers sont homogènes avec des caractéristiques opposées. La deuxième dimension exprime la variabilité des vergers notamment à partir du taux de mortalité. La plupart des vergers (89,1 %) avaient un taux de mortalité inférieur ou égale à 0,3 %, mais l'autre 10,1 % avait un taux de mortalité supérieur à 0,5 %. Ces derniers vergers avaient la plus faible abondance de la litière et les indices de la vigueur les plus élevées pour les arbres vivants.

d) Variabilité de la structure des haies

Les deux premiers axes de l'AFM ont exprimé respectivement 42,1 et 24,1 % de la variabilité totale de la structure de la haie (Figure 9D). La première dimension oppose les vergers pour lesquels le nombre d'espèces d'arbres et d'arbustes situé le long de leurs périmètres et le revêtement du sol sont plus élevés que ceux dont le nombre d'espèces de la haie et le revêtement du sol sont faibles. Le nombre d'espèces de la haie est positivement corrélé à la composition des espèces d'ombrage. La deuxième dimension exprime la variabilité de la haie due à sa composition en espèces de bornage (Usage 1) et en espèces défensives (Usage 2). En effet, 48,1 % des vergers sont entièrement entourés d'une haie alors que 11,1 % des vergers ne sont pas du tout entourés d'une haie. Les vergers sans haie étaient souvent entourés par un mur ou par les clôtures de fil (données non présentées).

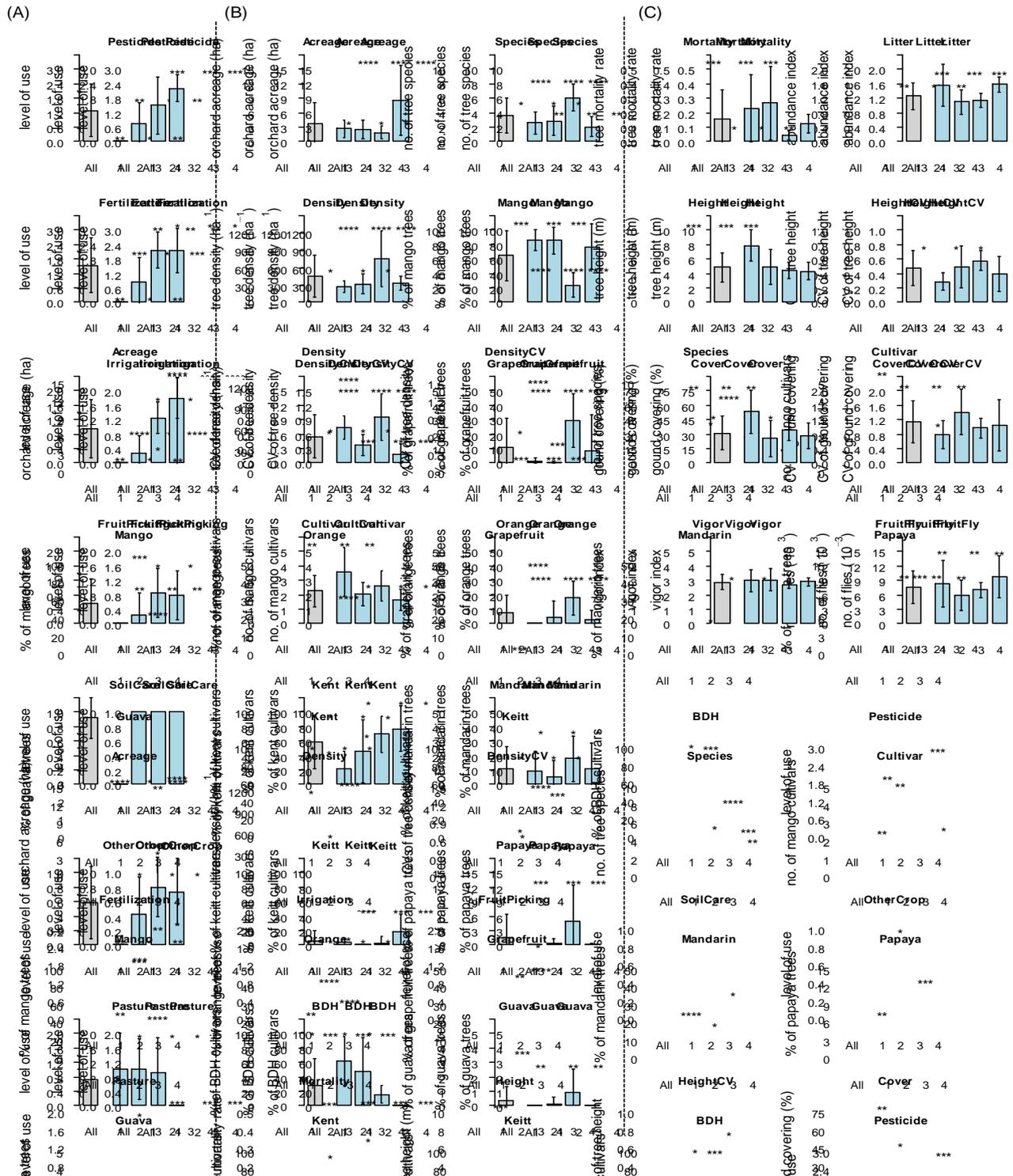


Figure 10 : Moyenne et écart-type des variables de gestion des vergers (A), des variables de conception du verger (B) et des variables de l'état végétatif et de l'infestation du verger dans l'ensemble de l'échantillon des vergers (All) et les types de vergers : (1) "vergers de manguiers sans entretien" ; (2) "vergers de manguiers à faible entretien" ; (3) "vergers mixtes d'agrumes semi intensifs" et (4) "Grands vergers monovariétaux de manguiers ou d'agrumes semi intensif". Les astérisques indiquent les valeurs de la p-value du v-test (****P<0,0001 ; ***P<0,001 ; **P<0,01 ; *P<0,5).

4.3.2. Typologie des systèmes de cultures des vergers à base de manguiers Sénégalais basés sur leur conception et leurs modes de gestion

La classification hiérarchique effectuée en utilisant les variables de la conception et des pratiques de gestion des vergers a permis de regrouper ces vergers en 4 types de systèmes de cultures (Annexe B, Figure 2B). Les groupes de verger 1, 2, 3 et 4 contenaient respectivement 5, 24, 20 et 15 vergers. Ces 4 groupes définissent 4 types de systèmes de culture et définis dans la figure 10A et 10B.

a) Système 1 : ‘Vergers de manguiers sans entretien’

Ce système 1 est caractérisé par des « vergers de manguiers sans entretien ». Ces vergers présentent un pourcentage élevé de manguiers (86 % des vergers système de culture 1 contre 64,3 % pour tous les vergers) et un faible pourcentage d'agrumes (10,6 % contre 31,7 %). La diversité des cultivars de manguiers est élevée (nombre de cultivars 3,60 contre 2,25 ; $P < 0,01$). Le cultivar de BDH a été bien représenté (62,0 % contre 27,8 % ; $P < 0,05$) tandis que le cultivar Kent a été sous représenté (21,8 % contre 58,5 % ; $P < 0,05$). La densité moyenne locale de plantation des arbres est faible (296 contre 455 arbres / ha ; $P > 0,05$). Dans le système 1, les arbres ne sont ni fertilisés, ni irrigués, ni traités et on ne note aucun entretien du sol. Il n'y a aucune utilisation secondaire du verger pour des cultures vivrières ou légumières. La végétation est dense et homogène. La hauteur moyenne des arbres est 7,87 m et la moyenne locale de l'ombrage des arbres est élevée (53,1 %).

b) Système 2 : ‘Vergers de manguiers à faible entretien’

Ce système 2 est caractérisé par des « vergers de manguiers à faible entretien ». Ce groupe de vergers présente également un pourcentage élevé de manguiers (85,7 % contre 64,3 % pour tous les vergers ; $P < 0,001$) et un faible pourcentage d'agrumes (Pamplemoussier : 0,2 % contre 11,2 % ; Mandarinier : 5,2 % contre 10,8 % ; $P < 0,05$). En moyenne, le cultivar BDH est dominant dans les vergers du système de culture 2 (48,0 % contre 27,8 % ; $P < 0,001$). En effet, 80 % des vergers du système de culture 2 sont dominés par le cultivar BDH. Toutefois, on note autant de vergers de ce système où le cultivar Kent est dominant. Dans ces vergers, on note une faible densité locale de plantation des arbres (320 contre 455 arbres / ha) mais aussi une faible variabilité entre les arbres (CV : 0,38 contre 0,54 ; $P < 0,05$). Les niveaux d'irrigation (0,29 contre 0,95 ; $P < 10^{-4}$), de fertilisation (0,86 contre 1,52 ; $P < 0,001$), de pesticide (0,76 contre 1,29 ; $P < 0,001$) et le ramassage des fruits tombés (0,24 contre 0,56 ; $P < 0,001$) sont faibles. L'irrigation, la fertilisation, les pesticides et le ramassage des fruits tombés ne sont

même pas utilisés dans respectivement 71, 48, 48 et 86 % des vergers. Il en est de même pour l'utilisation secondaire du verger à des cultures vivrières ou légumières (0,43 contre 0,59 ; $P < 0,05$).

c) Système 3 : 'Vergers mixtes d'agrumes semi-intensifs'

Ce système est caractérisé par des « vergers mixtes d'agrumes semi intensifs ». La diversité spécifique des espèces fruitières est très élevée (nombre d'espèces : 6,10 contre 3,67 pour tous les arbres). Ces vergers ont une composition élevée en agrumes : Orangers (17,8 % contre 7,9 % ; $P < 10^{-4}$), Pamplemoussier (29 % contre 11,2 % ; $P < 10^{-4}$) et Mandarinier (17,8 % contre 10,8 % ; $P < 0,05$). On n'y note également une proportion plus importante en papayers (4,9 % contre 1,7 % ; $P < 0,01$) et en goyavier (0,9 % contre 0,3 % ; $P < 0,01$). La composition en manguiers est faible (24 %). La densité locale de plantation des arbres est très élevée (754 contre 455 arbres / ha ; $P < 10^{-4}$) et la variabilité entre les arbres est élevée (CV : 0,96 contre 0,54 ; $P < 10^{-4}$). La superficie des vergers est faible (1,90 contre 3,70 ha ; $P < 0,05$). Les niveaux d'utilisation des pratiques d'irrigation (1,25 contre 0,95 ; $P < 0,05$), de fertilisation (2,15 contre 1,52 ; $P < 0,01$) et du ramassage des fruits tombés (0,85 contre 0,56 ; $P < 0,05$) sont élevées. Tous les vergers de ce système sont irrigués et fertilisés. La récolte sanitaire et les applications de pesticides sont respectivement pratiquées dans 70 % et 75 % des vergers. L'utilisation secondaire du verger aux cultures vivrières et légumières est fréquente dans 80 % des vergers (80 % contre 59 % ; $P < 0,05$).

d) Système 4 : 'Grands vergers monovariétaux d'agrumes ou de manguiers semi-intensifs'

Ce système est caractérisé par des « grands vergers monovariétaux de manguiers ou de d'agrumes semi intensifs ». Ce système 4 est constitué des vergers de superficie élevée (8,54 ha contre 3,70 ; $P < 10^{-4}$) et des arbres fruitiers de faible diversité spécifique (nombre de cultivars : 1,67 contre 2,25 ; $P < 0,05$). La proportion moyenne de manguiers est très élevée (76,5 % contre 64,3 % ; $P > 0,05$) mais la variabilité entre les arbres est faible (64,3 % de vergers monospécifiques et 26,6 % de vergers d'agrumes mixtes). Les cultivars de Kent (76,8 % contre 58,5 % ; $P < 0,05$) et de Keitt (18,1 % contre 5,4 % ; $P < 0,001$) sont les plus représentés que le cultivar BDH (0,2 % contre 27,8 % ; $P < 0,001$), faiblement représenté. La densité locale de plantation affiche une très faible variabilité entre les arbres (CV : 0,19 contre 0,54 ; $P < 0,01$). Les niveaux d'irrigation (1,81 contre 0,95 ; $P < 10^{-4}$), de fertilisation (2,13 contre 1,52 ; $P < 0,05$) et d'application de pesticides (2,20 contre 1,29 ; $P < 0,001$) sont très élevés. Tous les vergers de

ce système 4 sont traités et 93 % d'entre eux sont irrigués et fertilisés. Le pâturage par les animaux est rencontré dans seulement 9 vergers de ce système 4.

4.3.3. Caractéristiques des quatre systèmes de cultures à base de manguiers

La description des systèmes de culture par des variables « illustratives » (Cf. 2.3.3) relatives à l'état végétatif du verger (Figure 10C), à la structure de la haie (Tableau 3) et à l'infestation des vergers par la mouche des fruits (Figure 10C) est présentée ci-dessous.

Tableau 3 : Répartition des espèces de la haie des 54 vergers dans les 4 types de systèmes de culture et les 4 structures de la haie.

Orchards ^(a)	Hedgerows ^(a, b)			
	Cluster 1 ($n_q = 6$)	Cluster 2 ($n_q = 19$)	Cluster 3 ($n_q = 18$)	Cluster 4 ($n_q = 11$)
Entire sample ($n = 54$)	11.1%	35.2%	33.3%	20.4%
Cluster 1 ($n_q = 3$)	33.3%	0%	0%	66.7%
Cluster 2 ($n_q = 16$)	12.5%	37.5%	25%	25%
Cluster 3 ($n_q = 20$)	10%	5% ***	65% ***	20%
Cluster 4 ($n_q = 15$)	6.7%	80% ****	6.7% *	6.7%

(a) Les groupes sont définis dans la section 3.2 pour les vergers (1 : « vergers de manguiers sans entretien », 2 : « vergers de manguiers à faible entretien », 3 : « vergers mixtes d'agrumes semi intensifs » et 4 : « grands vergers monovariétaux d'agrumes ou de manguiers semi intensifs ») et dans la section 3.2.2 pour les haies (1 : « pas de haies vivantes », 2 : « haies avec des espèces défensives », 3 : « haies denses avec des espèces de marquage » et 4 : « haies avec un grand nombre d'espèces diversifiées »).

(b) Les valeurs représentent le pourcentage (%) des vergers du groupe des systèmes de cultures et celui des structures de la haie dans l'ensemble de l'échantillon (par exemple : 12,5% des vergers du système de culture 2 sont entourés par une structure de haie de type 2) ; n et n_q sont respectivement le nombre de vergers dans l'échantillon et dans les groupes. Les astérisques indiquent la p-value du v-test (**** $P < 10^{-4}$; *** $P < 10^{-3}$; ** $P < 10^{-2}$; * $P < 5 \times 10^{-2}$) utilisée pour identifier les meilleures variables qui caractérisent les systèmes de cultures et les structures des haies.

a) Etat végétatif des vergers

Le système de culture 1 « vergers de manguiers sans entretien » est caractérisé par des vergers ayant une végétation dense et homogène. Les arbres ont une hauteur moyenne (7,87 m pour les vergers du système 1 vs 4.83 m pour tous les vergers ; $P < 0.001$). La densité locale de la couverture des arbres est élevée (53,1 % contre 30,0 % ; $P < 0,01$) et la variabilité entre les arbres est faible (CV des hauteurs : 0,29 % contre 0,48 ; CV couverture locale du sol : 0.80 vs 1.3). L'abondance de la litière dans ces vergers a tendance à être en dessous de la moyenne. Les vergers du système 2 (vergers de manguiers à faible entretien) sont caractérisés par un taux de mortalité des arbres élevé (0,27 contre 0,16 ; $P < 0,001$). L'indice moyen de l'abondance de la litière (1,10 contre 1,26 ; $P < 0,01$) et de la couverture locale du sol (25,4 % contre 30 % ; $P < 0,05$) est inférieur à la moyenne. La végétation est assez hétérogène au niveau de ces vergers (CV couverture locale du sol : 1,40 contre 1,13 ; $P < 0,01$). Malgré les tendances observées en ce qui concerne les caractéristiques de ces vergers, ce système de culture a une grande variabilité entre les vergers. Le système de culture 3 « vergers mixtes d'agrumes semis intensifs » est caractérisé par un faible taux de mortalité des arbres (0,04 contre 0,16 ; $P < 0,01$). De plus, la variabilité de la hauteur des arbres au sein de ces vergers est légèrement supérieure à la moyenne (CV hauteur : 0,57 contre 0,48 ; $P < 0,05$) et l'indice moyen de la vigueur des arbres est inférieur à la moyenne (2,66 contre 2,89 ; $P < 0,05$). Les vergers du système de culture 4 « grands vergers monovariétaux d'agrumes ou de manguiers semi intensifs » présentent des caractéristiques végétatives moyennes sauf pour l'indice moyen de l'abondance de la litière qui reste élevé (1,58 contre 1,26 ; $P < 0,001$).

b) Structure de la haie

La variabilité de la structure de la haie a été résumée en quatre modèles structurels, à savoir les 4 groupes de haies décrits dans la figure 11 (les résultats sont détaillés sur le groupement hiérarchique à l'Annexe 4, Figure B3 ; Tableau BII). La première structure de la haie « pas de haie vivante ; grappe 1 » est composée d'une haie sans arbres ou arbustes. La seconde structure « haies avec des espèces défensives ; grappe 2 » est constituée d'une haie riche en espèces défensives (64,7 % en moyenne pour les haies du groupe 2 par rapport au 38,0 % pour l'ensemble des haies ; $P < 10^{-4}$) et une composition faible en espèces de bordure, en espèces productives de fruits. La troisième structure « haie avec des espèces de marquage ; grappe 3 » est constitué de haies riches en espèces de marquage des limites des vergers (75,3 % contre 39,3 % ; $P < 10^{-4}$) et pauvres en espèces défensives et en espèces productrices de

fruits. La quatrième structure « haies denses avec une grande diversité d'espèces ; grappe 4 » est constituée de haies ayant un grand nombre d'espèces (11,6 % contre 6,2 % ; $P < 10^{-4}$) et une couverture du sol élevée (106,4 % contre 71,3 % ; $P < 0,01$). Leur composition en espèces de couverture (11,6 % contre 3,5 % ; $P < 10^{-4}$) et productrices de fruits (9,2 % contre 2,4 % ; $P < 10^{-4}$) est en dessous de la moyenne.

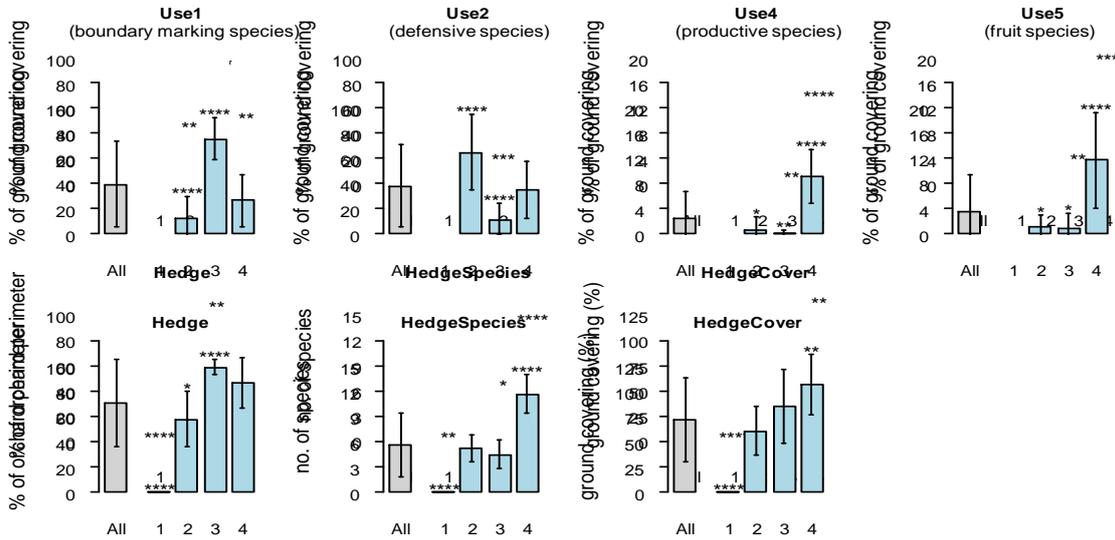


Figure 11 : Les moyennes et les écart-types des variables des haies dans l'ensemble des vergers (All) et des types de haies (1-4). Les types de haies : (1) "pas de haies vivantes", (2) "haies avec des espèces défensives", (3) "haie avec des espèces de marquage" et (4) "haies denses avec une grande diversité d'espèces". Les astérisques indiquent la p-value du v-test (**** $P < 0,0001$; *** $P < 0,001$; ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$) utilisée pour identifier les meilleurs variables qui caractérisent les structures des haies.

Dans le système de culture 1 « vergers de manguiers sans entretien », deux structures de haies ont été observées : « pas de haie vivante » et « haie vivante avec une grande diversité d'espèces » (Tableau 3). Dans le système de culture 2 « vergers de manguiers à faible entretien », les 4 structures de la haie y ont été observées. Le système de culture 3 « vergers mixtes d'agrumes semi intensifs » est caractérisé par les vergers dont les « haies sont majoritairement composées d'espèces de bornage (65,0 % contre 33,3 % pour tous les vergers ; $P < 0,001$) ». Le système de culture 4 « grands vergers monovariétaux d'agrumes ou de manguiers semi intensifs » est caractérisé par les vergers dont les « haies sont majoritairement composées d'espèces défensives (80,0 % contre 35,2 % ; $P < 10^{-4}$).

c) Infestation des vergers par la mouche des fruits *B. dorsalis*

Les vergers du système de culture 2 « vergers de manguiers à faible entretien » sont caractérisés par un niveau d'infestation de la mouche des fruits *B. dorsalis* en dessous de la moyenne (Nombre de mouches piégé : 5 890 en moyenne pour les vergers du groupe 2 contre 7500 pour tous les vergers ; $P < 0,01$). Au contraire, les vergers du système de culture 4 « grands vergers monovariétaux d'agrumes ou de manguiers semi intensifs » sont caractérisés par un niveau d'infestation de la mouche des fruits *B. dorsalis* supérieur à la moyenne (9720 contre 7500 ; $P < 0,01$). Les vergers des autres systèmes de culture (1 et 3) ont montré un niveau moyen d'infestation par *B. dorsalis*.

4.4. Discussion et conclusion

Cette étude a tenté de caractériser et de saisir la diversité des systèmes de culture à base de manguiers existant au Sénégal. Ces résultats ont mis en évidence la diversité de ces systèmes découlant de la conception de plantation et de leur gestion annuelle. Ils pourraient être classés en 4 principaux types. Cette classification constitue une valeur ajoutée par rapport à des typologies précédentes à base d'experts (Vayssières et *al.*, 2005 ; Vayssières et *al.*, 2008 ; Ndiaye et *al.*, 2012). Elle caractérise quantitativement les types de systèmes de culture en équilibrant respectivement l'influence respective des variables de conception et de gestion des vergers au moyen d'une méthode rigoureuse. L'observation détaillée de ces faits agronomiques permet de déduire les grandes lignes stratégiques des agriculteurs dans les 4 types de systèmes de culture. La motivation et les possibilités de commercialisation des agriculteurs semblent dicter leurs choix techniques de mise en place du verger jusqu'à la maintenance initiale.

Ces résultats ont confirmé que les systèmes dominants de manguiers dédiés au marché d'exportation ont moins de diversité végétale de manguiers et ont affiché un niveau d'intensification plus élevé que ceux réservés au marché local, comme l'ont suggéré précédemment Ndiaye et *al.* (2012). Même si les vergers de type 4 ont affiché les niveaux d'intensification les plus élevés, ils étaient plutôt considérés comme des systèmes de culture moyen du fait que leur niveau d'intensification a été plus élevé dans le contexte de la zone d'étude. Par exemple, le niveau d'utilisation des pesticides ne peut plus être considéré comme « élevé » par rapport aux 25 à 30 applications annuelles dans un verger de pommier en France (Aubertot et *al.*, 2005). Dans le système 4, la mécanisation du verger a été facilitée par une plantation régulière en ligne des arbres. Ce qui explique la faible variabilité de la densité locale de plantation entre les arbres. A l'extrême opposé, les efforts de maintenance pour améliorer la

production de fruits ne sont plus fournis dans les vergers du système 1. En outre, les arbres n'étaient sans doute pas taillés dans ces vergers. Dès lors, la végétation est beaucoup plus développée et dense que celle des autres systèmes. L'urbanisation a augmenté dans la zone d'étude depuis plusieurs décennies conduisant à une augmentation des prix des terrains. Dans ce contexte, la motivation de certains producteurs est de vendre leur verger comme des terrains à bâtir ; et les arbres ont principalement été utilisés pour limiter la propriété de clôture. Dans les approches visant à concevoir des systèmes de culture innovants, ce point souligne l'intérêt d'identifier la marge de manœuvre (Papy, 2001) et d'effectuer les approches cognitives des pratiques culturelles des agriculteurs afin d'identifier les conducteurs des pratiques changeant (Cerf, 1996). Cependant, dans le cas des vergers du système 1 qui se trouvaient dans un contexte d'une forte spéculation foncière, les pilotes sont très certainement l'évolution de la motivation des agriculteurs.

Les vergers avec les espèces d'agrumes prédominantes (ceux du système 3 et en partie ceux du système 4) affichent un niveau d'intensification plus élevé, bien que les agrumes du Sénégal ne soient pas exportés, mais dédiés aux marchés local et national. La culture d'agrumes nécessite une irrigation contrairement à celle de la mangue. Au Sénégal, la saison des pluies ne dure que 3 à 4 mois. Par conséquent, la culture des agrumes nécessite des moyens financiers et matériels considérables par rapport à celle de mangue pour obtenir l'eau et acquérir un système d'irrigation. Dès que le producteur irrigue, il engage des coûts qui doivent être récupérés. Ce qui conduit à améliorer la gestion du système de culture et à améliorer la commercialisation des fruits dont le marché repose essentiellement sur les réseaux de vente au détail. Le grand nombre d'espèces fruitières dans les vergers du système 3 permet la propagation de la période de production et assure l'approvisionnement du marché en fruits durant toute l'année.

La localisation géographique des vergers échantillonnés (Annexe 4, Tableau B) a mis en évidence une certaine spécialisation des localités dans les modes de production et de commercialisation des vergers à base de manguiers. La plupart des vergers situés autour de Notto sont grands et sont constitués de manguiers ou d'agrumes. Les mangues sont destinées à l'export (système 4). La plupart des vergers se trouvant à Sébikotane sont de taille moyenne avec des espèces d'agrumes prédominantes (système 3). Autour des localités de Pout et de Pékou, on rencontre des vergers de manguiers du système 1 et 2.

Un aspect nouveau et intéressant de la caractérisation actuelle des systèmes à base de manguiers est la description des haies autour des vergers ainsi que leur classification dans les

schémas structurels relatifs aux utilisations d'espèces des arbres et arbustres (Arbonnier, 2002). Les relations des motifs de la haie et ceux de la conception et la gestion des vergers ont donc été incluses. En particulier, les espèces défensives et à la limite les arbres de marquage étaient plus fréquentes dans les haies autour des vergers soit avec les mangues dédiées aux marchés d'exportation ou d'espèces d'agrumes prédominantes (système 3 et 4). Ces résultats peuvent suggérer que ces choix ciblent les systèmes de culture de haute valeur ajoutée qui nécessitent une protection contre le vent, les voleurs ou les animaux. Ils appellent cependant une approche économique pour confirmer que les vergers du système 3 et 4 sont de plus forte valeur ajoutée que les vergers du système 1 et 2.

Ces résultats ont également soutenu l'hypothèse que le fonctionnement du système était lié à des choix techniques de l'agriculteur. *B. dorsalis* (ex *B. invadens*) a été plus abondante dans les vergers intensifs du système 4 que dans ceux du système 2. Ces résultats sont contradictoires à ceux de Ndiaye et al. (2012) qui sont obtenus dans la même zone d'étude. Les auteurs ont confirmé que les vergers « traditionnels » étaient plus infestés que les vergers modernes (intensif). Cependant, une analyse plus approfondie de leurs résultats ont montré que le nombre de mouches de *B. dorsalis* a d'abord été plus élevé dans les vergers de type traditionnels, mais, à partir de Juillet-Août, il est devenu plus élevé dans les vergers modernes du type 4. Cette seconde période correspond avec le début de la production des agrumes tandis que la production de la mangue a eu lieu au cours des deux périodes (Ndiaye et al., 2012). La disponibilité et le mûrissement des fruits ont été revendiqués comme un facteur important influençant la dynamique de la mouche des fruits (Allwood, 1996). En 2010, la production de la mangue était faible (J-Y. REY, comm. Pers.) Ce qui devrait avoir réduit la mouche des fruits en particulier dans les vergers de manguiers prédominants. Les conditions environnementales (par exemple, l'ombrage, l'intensité lumineuse, les températures ambiantes et l'humidité relative) pourraient également influencer l'abondance de *B. dorsalis* (Aludja et Birke, 1996). En particulier, l'humidité pourrait être favorisée par des niveaux élevés d'irrigation dans le système 4, alors que la couverture de la végétation faible et irrégulière mais aussi les faibles niveaux d'irrigation dans le système 2 étaient susceptibles de diminuer l'humidité et l'ombrage dans les vergers. Mais de façon inattendue, le nombre de mouches était le plus élevée dans les vergers avec la fréquence relative la plus élevée des traitements pesticides et d'assainissement des fruits (système 4). Enfin, il semble difficile d'expliquer la différence de l'abondance des mouches des fruits qui a été observée entre les 4 systèmes de culture basée sur la présente caractérisation. Toutefois, les données sur l'intensité de la pratique n'indiquent pas si les

agriculteurs ont une bonne maîtrise des techniques qu'ils appliquent. Par exemple, si les pesticides ne sont pas bien appliqués, ils pourraient être inefficaces contre les ravageurs tout en réduisant les insectes bénéfiques. De la même manière, il est possible que certains agriculteurs utilisant l'assainissement des fruits en les réunissant dans un coin du verger sans pour autant les mettre dans des sacs en plastique, ce qui rend la pratique inefficace. Comme les pratiques ont rarement été enregistrées par les agriculteurs, les données obtenues à partir de leur déclaration ne pouvaient pas évaluer la qualité de l'application des pratiques. En outre, les écarts entre les réponses des agriculteurs et les faits observés dans les vergers sont habituels dans les analyses des enquêtes.

Cette étude comble une lacune de connaissances importantes sur la caractérisation des systèmes de culture à base de manguiers Sénégalais. Une meilleure connaissance de ces systèmes facilitera d'autres études visant à améliorer la gestion des ravageurs. En tant que première recommandation, la maîtrise technique des agriculteurs des pratiques de gestion doit être contrôlée et améliorée par la mise en place des formations techniques par exemple. Cependant, des études plus approfondies sur la dynamique des mouches des fruits seraient nécessaires pour mieux comprendre le rôle des fruits hôtes dans et autour des vergers, des conditions environnementales et des pratiques de gestion dans ces dynamiques. Dans le cadre de l'enquête menée dans notre étude, il n'a pas été possible d'obtenir des données sur le rendement des fruits des agriculteurs. Ces données auraient été utiles pour mettre en corrélation la disponibilité des fruits hôtes à l'abondance des mouches des fruits. En outre, le manque de données sur le rendement altère également la caractérisation des performances agronomiques des systèmes de cultures à base de manguiers. D'autres études sont lancées : (i) pour établir des méthodes de mesure en champ afin d'estimer les rendements et (ii) pour mieux comprendre les facteurs socio-économiques impliqués dans le choix technique de l'agriculteur et identifier les leviers d'action possibles dans les systèmes de cultures.

Chapitre 5 : Relations entre les caractéristiques des agrosystèmes à base de manguiers, la biodiversité des communautés de termites et leurs dégâts

Ce chapitre a été rédigé sous forme de deux articles. Le premier est intitulé « Biodiversité et composition des communautés de termites associées aux manguiers dans les vergers Sénégalais et leurs relations avec les caractéristiques des vergers ». Cet article décrit l'influence de la conception et des pratiques de gestion des vergers sur la biodiversité des termites. Il évalue les possibilités de gestion des dégâts causés par les termites par leur biodiversité et caractérise les communautés de termites rencontrés dans les vergers.

Le second article quant à lui est intitulé « Dépérissement des manguiers : quels effets sur la conception et les pratiques de gestion des agrosystèmes à base de manguiers ». Il décrit d'une part les relations entre les dégâts des termites à la base du tronc et des racines, leur présence aux pieds des arbres et le niveau de dépérissement des arbres. Il identifie d'autre part les pratiques de gestion des vergers qui réduisent les dégâts des termites dans les agrosystèmes. Il montre également les variations de l'état végétatif des arbres et les dégâts des termites en fonction du type de sol, de vergers et du site d'étude.

ARTICLE 3

Biodiversité des communautés de termites associés aux manguiers dans les vergers Sénégalais et relations avec les caractéristiques des vergers

Cheikh Amet Bassirou SANE^{1*}, Isabelle GRECH², Corinne ROULAND-LEFEVRE³, Jean Yves REY⁴, Lamine DIAME⁵, Jean-François VAYSSIERES⁶, Karamoko DIARRA⁷

Ce manuscrit a été soumis à Agriculture, Ecosystems and Environment le 30/09/2015

Résumé. Introduction. Le dépérissement des manguiers, en partie imputable aux termites, est devenu la préoccupation majeure des producteurs. Malgré le rôle positif des termites dans les écosystèmes, beaucoup d'espèces sont devenues des ravageurs dans les agrosystèmes. Il a été montré que les attaques de termites sur les plantes cultivées sont liées à une forte diminution de leur biodiversité dans ces milieux anthropisés. Afin d'améliorer durablement la gestion des vergers de manguiers, nous avons évalué les effets de la conception et des pratiques de gestion des vergers sur la biodiversité des termites et avons caractérisé l'assemblage des espèces de termites en fonction des types de vergers et des localités géographiques. **Matériel et Méthodes.** Les observations et prélèvements de termites ont été réalisés dans 35 vergers présentant des pratiques de gestion contrastées. Les termites sont récoltés de façon aléatoire par fouille systématique sur les manguiers et dans le sol, à l'aplomb de leurs frondaisons. **Résultats et Discussion.** La diversité et la richesse spécifique des termites sont corrélées positivement avec la vigueur des arbres. La fertilisation et les applications de pesticide réduisent la diversité et la richesse spécifique des termites. L'abondance des termites varie avec le type de sol et diminue avec la fertilisation. Par ailleurs, la structure des communautés de termites dépend de la localité géographique. **Conclusion.** La réduction de biodiversité par la fertilisation ainsi que la corrélation positive entre le bon état végétatif des arbres et la biodiversité des termites sont observées pour la première fois dans des vergers. Cette étude constitue une étape importante dans le processus de mise de mise en place de méthodes de gestion des termites par la biodiversité.

Mots clés : Terme / Biodiversité / Vigueur/ Agrosystèmes / *Mangifera indica* / Sénégal

5.1.1. Introduction

Les régions de Thiès et de Dakar constituent l'une des zones de production de mangue les plus importantes du Sénégal. Ces dernières années, le dépérissement des manguiers est de plus en plus observé dans de nombreux vergers de ces deux régions. Ce dépérissement, qui est en partie imputable aux termites, est devenu une forte préoccupation pour la plupart des producteurs.

Les termites sont des insectes sociaux appartenant à l'ordre des Isoptères. Dans les systèmes tropicaux et subtropicaux, ils constituent la composante principale de la macrofaune du sol (37 %) avec les fourmis (23 %) et les vers de terre (9 %) (Fragoso et *al.*, 1995 ; Fall et *al.*, 2000). Les termites sont considérés comme des ingénieurs des écosystèmes (Decaëns et *al.*, 2001 ; Mora et *al.*, 2005). Ils participent à la réhabilitation des sols dégradés, facilitent l'infiltration des eaux et transforment les débris végétaux en matière organique (Jouquet et *al.*, 2011). Ils modifient également leur environnement en remontant les particules du sous-sol vers la surface (Black et *al.*, 1997 ; Deprince, 2003 ; Lavelle, 2006 ; Brussard et *al.*, 2007 ; Zaremski et *al.*, 2009). Les termites jouent un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes (Lavelle et *al.* 1997 ; Duboisset et *al.*, 2005 ; Jouquet et *al.*, 2006) et sont également utilisés, avec les vers de terre, pour en restaurer le fonctionnement (Dawes, 2010 ; Jouquet et *al.*, 2014). A côté de ces impacts bénéfiques sur le fonctionnement des écosystèmes, des nuisances des termites sur les végétaux vivants ont été signalées (Rouland-Lefèvre, 2011). Des dégâts de termites ont été observés sur riz, sur maïs (Smit and Van Der Berg, 2003 ; Akpessé et *al.*, 2008), sur manioc (Faye et *al.*, 2014), sur canne à sucre (Anani Kotoklo et *al.*, 2008), sur hévéa (Tahiri et *al.*, 2007), sur arbres forestiers (Anani Kotoklo et *al.*, 2010 ; Gbenyedji et *al.*, 2011), et également sur manguiers en jeunes pépinières (Coulibaly et *al.*, 2014) et en vergers (Ndiaye et Han, 2006 ; Zaremski et *al.*, 2009).

La régulation des ravageurs a longtemps été considérée comme un service écosystémique précieux rendu par la préservation de la biodiversité (Mooney et *al.*, 1995a, 1995b ; Naeem et *al.*, 1999 ; Schlöpfer et *al.*, 1999). D'une manière générale, il est considéré que la biodiversité joue un rôle important dans le maintien de la stabilité des écosystèmes. Un nombre élevé d'espèces fonctionnellement similaires permet d'une part de maintenir la stabilité de l'écosystème puisque lorsque les espèces dominantes ne sont plus adaptées aux conditions environnementales, d'autres espèces peuvent facilement se substituer à leurs fonctions (Yachi et Lorcan, 1999) ; d'autre part d'améliorer l'équilibre de l'écosystème (Naeem et Li, 1997).

Ainsi, la restauration de la biodiversité fonctionnelle du paysage agricole est une stratégie clé de l'agriculture durable.

De façon générale, l'activité humaine met en danger la biodiversité (Naylor et Ehrlich, 1997). Le fonctionnement des agrosystèmes est régi par les relations entre les espèces présentes qui sont influencées par la conception de ces systèmes de cultures, les pratiques de gestion et l'environnement immédiat. Les pratiques de gestion intensives peuvent changer la structure d'un système de production agricole et conduire à la simplification des habitats naturels. Dès lors, on assiste à une perte de biodiversité, végétale et animale, une réduction des interactions entre les espèces, une déstabilisation du système et à des infestations massives de ravageurs (Kruess et Tschamntke, 1994 ; Swift et *al.*, 1997 ; Knops et *al.*, 1999). Ainsi, la déforestation et l'agriculture intensive diminuent la richesse spécifique et l'abondance de la macrofaune du sol (Eggleton et *al.*, 1996 ; Birang et *al.*, 2003). L'activité de la macrofaune dans les sols agricoles dépend fortement des pratiques de gestion (Lavelle et *al.*, 2006). Concernant les termites, plusieurs facteurs peuvent influencer leur biodiversité dans les agrosystèmes. Les pratiques telles que le labour, la monoculture, l'utilisation de pesticides et la réduction de la jachère diminuent la diversité des termites (Black et *al.*, 1997). L'irrigation abondante peut réduire la présence des termites sur le pied des arbres (Han et Ndiaye, 1996). Par ailleurs, la répartition et l'abondance des termites peuvent aussi dépendre des conditions climatiques et édaphiques (Sarr et *al.*, 2005 ; Ayuke et *al.*, 2011). Au Sénégal, les vergers à base de manguiers sont très diversifiés dans leur conception, leur composition variétale et spécifique et dans leurs modes de gestion (Vannière et *al.*, 2004 ; Grechi et *al.*, 2013). Pourtant aucune étude ne s'est jusque-là intéressée aux relations existantes entre la conception des vergers et les pratiques de gestion d'une part et l'abondance et la biodiversité des termites d'autre part.

La connaissance des facteurs influençant la biodiversité et l'abondance des termites à l'échelle des agrosystèmes est un préalable dans toute initiative de mise en place de méthodes de gestion efficaces contre ce ravageur. Dans le cas spécifique des vergers à base de manguiers au Sénégal, ce travail vise à étudier (1) les effets de la conception des vergers et des pratiques de gestion sur la richesse spécifique, la diversité et l'abondance des communautés de termites et (2) les caractéristiques de ces communautés de termites en relation avec la conception des vergers et les pratiques de gestion. Notre hypothèse est qu'un dysfonctionnement des agrosystèmes « vergers de manguiers » suite à un appauvrissement de la biodiversité en termites entraînerait une augmentation des ravages sur manguiers par ces insectes. Si notre hypothèse est validée, nos résultats devraient permettre de développer une stratégie de gestion

efficace et durable des vergers pour diminuer l'impact des termites par la gestion de leur biodiversité.

5.1.2. Matériel et méthodes

5.1.2.1. Zone d'étude et échantillonnage des vergers

L'étude a été menée sur 35 vergers situés dans les localités de Thiès (10), Pout (10), Ndoyenne (10) et Notto (5), dans les régions de Thiès et de Dakar, au Sénégal (Figure 12). Ces deux régions sont caractérisées par des aérosols ferrallitiques et un climat soudano-sahélien. La pluviométrie est monomodale de juillet à septembre. De 2008 à 2013 elle a varié entre 600 et 750 mm.

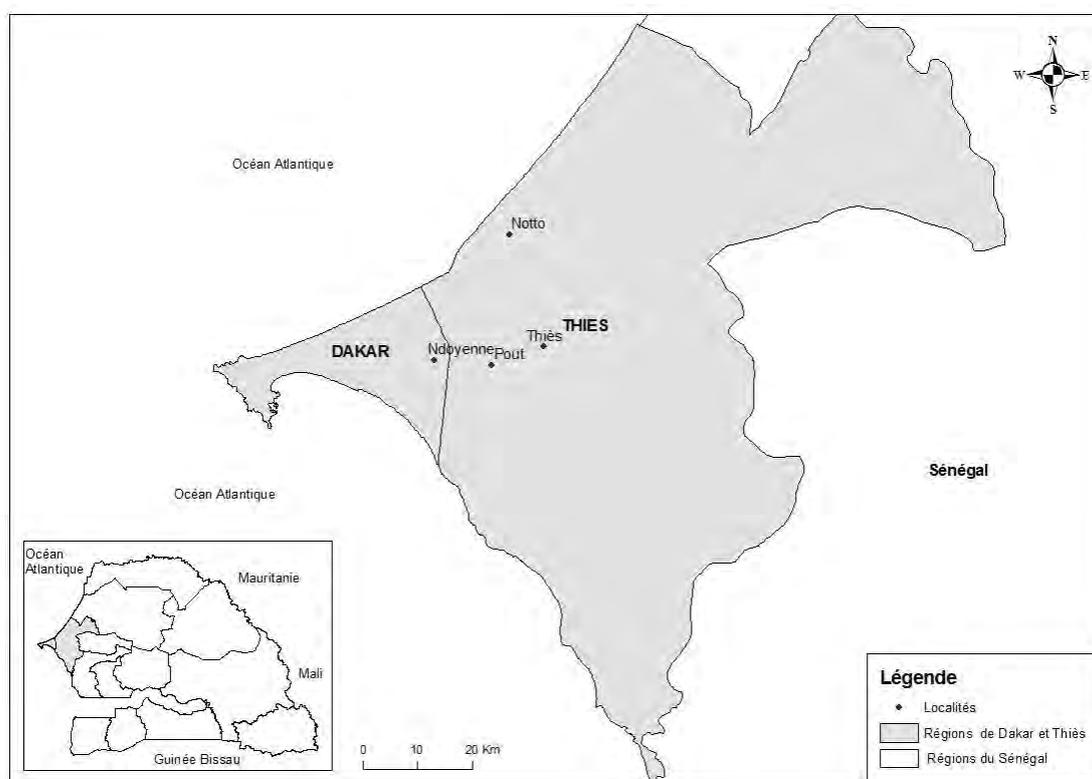


Figure 12 : Carte des localités étudiées au niveau des régions de Thiès et de Dakar, au Sénégal

Une typologie des vergers à base de manguiers a préalablement été réalisée sur 64 vergers situés sur cette même zone d'étude sur la base de 25 variables décrivant la conception et les pratiques de gestion (Tableau 4) (Grechi et al., 2013). Au cours de cette précédente étude, les vergers ont également été caractérisés par 7 variables décrivant l'état de végétation du verger (Tableau 4). Quatre grands types de vergers ont été identifiées : (1) « Vergers de manguiers diversifiés sans intrants », (2) « Vergers de manguiers à faibles intrants », (3) « Vergers à *Citrus* prédominants avec niveau intermédiaire d'intrants » et (4) « Grands vergers de manguiers ou

de *Citrus* prédominants avec niveau intermédiaire d'intrants ». Les vergers de type 1 et 2 sont majoritairement constitués de manguiers. Ceux de type 1 présentent une forte diversité variétale. Ces vergers ne reçoivent aucun ou peu d'intrants, les arbres ne sont pas irrigués et peu entretenus. Les vergers de type 3 sont essentiellement constitués d'agrumes et présentent une grande diversité spécifique. Ils sont tous irrigués et fertilisés. Les vergers de type 4 sont de grands vergers plantés régulièrement avec une faible diversité spécifique et variétale. Ce sont essentiellement des vergers mono-spécifiques composés d'agrumes et/ou de manguiers. Ces vergers sont parmi ceux les plus irrigués et recevant le plus d'intrants chimiques et de fertilisants.

Les 35 vergers de cette étude ont été choisis parmi les 64 vergers ayant servi à la réalisation de cette typologie. Parmi ces vergers, 8 vergers sont de type (1), 11 de type (2), 9 de type (3) et 7 de type (4). Ces 35 vergers ont également été caractérisés par une nouvelle variable : le « sol » qui est défini selon sa structure et sa texture: (1) « sable », (2) « sable argileux », (3) « argile noire » et (4) « argile rouge ». Ces types de sols sont étroitement liés aux localités géographiques : Notto est constitué de sols sableux, Pout est constitué de sols à argile rouge, Ndoienne est constituée de sols sableux (50 %) et sablo-argileux (50 %) et Thiès est constitué de sols sablo-argileux (40 %) et à argile noire (60 %). Les vergers ont également été classés en deux types : les vergers en « bon état » et les vergers en « mauvais état ». Les vergers en bon état sont les vergers dont la majorité des arbres présentent un bon état végétatif. Dans ces vergers, on note peu ou pas d'arbres morts ou manquants. Les vergers en mauvais état sont des vergers dont la majorité des arbres présentent un mauvais état végétatif. Dans ces vergers, on note beaucoup d'arbres manquants et beaucoup d'arbres morts.

5.1.2.2. Echantillonnage des termites

Dans chaque verger, 40 pieds de manguiers ont été choisis de façon aléatoire. Les termites ont été collectés en 2012, pendant la saison humide, par fouille systématique sur tronc, placages, écorces et à 20 cm de profondeur du sol, selon la méthode utilisée par Han et Ndiaye (1996). La durée de la fouille était de 5 min maximum par arbre. Les termites collectés ont été conservés dans des tubes contenant de l'alcool 90°C. Les échantillons de termites ont d'abord été classés en morphotypes. Ensuite, chacun des morphotypes a été identifié jusqu'à la morpho-espèce à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) au sein de l'UMR iEES Paris(France).

5.1.2.3. Relations entre la diversité, la richesse spécifique et l'abondance des termites associés aux manguiers et les caractéristiques des vergers

La biodiversité des termites a été évaluée à partir de leur diversité et de leur richesse spécifique. L'indice de diversité de Shannon (α -diversité) a été calculé pour chaque verger en considérant que l'abondance de chaque espèce de termite (abondance spécifique) correspond au nombre de manguiers, sur les 40 pieds échantillonnés, où l'espèce a été collectée. La richesse spécifique représente le nombre d'espèces rencontrées dans chaque verger. L'abondance en termites d'un verger correspond à la somme des abondances spécifiques observées sur ce verger.

Les relations entre la diversité, la richesse spécifique et l'abondance des termites d'une part et les caractéristiques des vergers d'autre part ont été testées en considérant 13 variables (ie Density, DensityCV, Irrigation, SoilCare, Pesticide, Fertilization, Mortality, Height, Vigor, Cover, Litter, Soil and Orchard type; voir définition dans le Tableau 4).

Tableau 4 : Liste et définition de l'ensemble des variables de 'conception des vergers', des 'pratiques de gestion des vergers' et de la 'végétation des vergers' utilisées dans la caractérisation des vergers. Pour le détail de ces variables, voir Grechi et *al.* (2013). L'astérisque indique les variables utilisées dans les analyses de la variation de la diversité des termites, de l'abondance relative et de la richesse spécifique des termites.

Sous-groupes	Variables	Définitions (Unité)
Groupe 1. Conception du verger		
Acraese	Superficie	Superficie du verger (ha)
Species	Espèces	Nombre d'espèces fruitières
Density	*Densité	Densité locale de plantation
DensityCV	*DensityCV	Coef. de variation de la densité locale de plantation
Cultivar	Cultivar	Nombre de cultivars de manguiers
% Species		Composition du verger en espèces fruitières
	Manguier	% du verger en manguiers
	Oranger	% du verger en orangers
	Pamplemoussier	% du verger en pamplemoussiers

Caractéristiques des vergers et biodiversité des termites

	Mandarinier	% du verger en mandariniers
	Citronnier	% du verger en citronniers
	Papayer	% du verger en papayers
	Goyavier	% du verger en goyaviers
	Autres fruitiers	% du verger en autre espèces fruitières
% Cultivars		Composition du verger en cultivars
	Kent	% du verger en Kent
	Keitt	% du verger en Keitt
	BDH	% du verger en Boucodiekhal (BDH)
	DBG	% du verger en Dieg bou gatt (DBG)
	Sewe	% du verger en Sewe
	OtherMango	% du verger en autre cultivars
Groupe 2 : Pratique de gestion du verger		
Pasture	Pâturage	Niveau d'utilisation secondaire du verger pour le pâturage par les ruminants
OtherCrop	Autre culture	Niveau d'utilisation secondaire du verger pour les cultures alimentaires ou végétales associées
Irrigation	*Irrigation	Intensité d'irrigation du niveau d'irrigation et du niveau de mécanisation
SoilCare	*Entretien du sol	Travail superficiel du sol et / ou le désherbage mécanique du sol
Pesticide	*Pesticide	Fréquence d'application des pesticides naturels ou de synthétiques
Pruning	*Taille	Niveau de la taille des arbres au niveau du verger
Fertilization	*Fertilisation	Intensité de fertilisation des arbres sur la base de la quantité et de la forme d'azote N fournie
FruitPicking	Piqûre des fruits	Ramassage des fruits tombés pour le contrôle préventif de la mouche des fruits
Groupe 3 : Etat végétatif du verger		
Mortality	*Mortalité	Taux de mortalité des arbres
Height	*Hauteur	Hauteur moyenne des arbres dans le verger (m)
HeightCV	CVHauteur	Coef. De la hauteur moyenne des arbres dans le verger

Vigor	*Vigueur	Vigueur moyenne des arbres dans le verger
Cover	*Couverture	% moyen de la couverture locale du sol par les arbres
CoverCV	CVCouverture	Coef. de variation du% moyen de la couverture locale du sol par les arbres
Litter	*Litière	Indice moyen de l'abondance de la litière des arbres

Deux nouvelles variables "Sol" et "Class" (les 4 types de vergers) ont également été considérées. Le choix de ces variables est arbitraire et repose sur leur susceptibilité à influencer la biodiversité, la distribution ou le comportement des communautés de termites. Les variables quantitatives ont été testées à l'aide de la corrélation de Pearson. Les variables qualitatives ont été testées à l'aide du test non paramétrique de Kruskal-Wallis. Quand une relation significative est identifiée au seuil α de 5 %, un test de comparaisons multiples (test de Tukey) est utilisé pour séparer les effets significatifs entre les modalités des variables qualitatives.

5.1.2.4. Caractérisation des vergers basée sur les communautés des termites

Une typologie des 35 vergers basée sur la composition des communautés de termites a été réalisée. Après une transformation logarithmique des données d'abondance, nous avons tracé une matrice de dissimilarité de Bray-Curtis puis construit un dendrogramme des vergers basé sur les distances par paires de Bray-Curtis à l'aide des critères d'agglomération de Ward.

5.1.2.5. Relations entre la composition des communautés de termites associées aux manguiers et les caractéristiques des vergers

Nous avons testé la congruence entre la typologie des vergers basée sur la communauté des termites et 1) la typologie des vergers basée sur la conception et les pratiques de gestion des vergers d'une part et 2) les localités géographiques d'autre part. Pour cela, un test exact de Fischer a été appliqué sur deux tableaux de contingence : celui entre les deux typologies d'une part et celui entre la typologie basée sur la communauté des termites et des localités géographiques d'autre part.

Tous les tests statistiques et les graphiques ont été faits avec le logiciel statistique R (R Development Core Team, 2011). Le package "Vegan" de R (Oksanen, 2011) a été utilisé pour calculer et construire le dendrogramme regroupant les vergers sur la base des communautés de termites.

5.1.3. Résultats

5.1.3.1. La richesse et la composition spécifique en termites dans les vergers de manguiers

L'inventaire systématique des espèces de termites associées aux manguiers dans les vergers sénégalais de Dakar et Thiès nous a permis de collecter 9931 individus de 19 espèces. Ces 19 espèces sont réparties dans 2 familles (Termitidae Sjöstedt et Rhinotermitidae Light), 6 sous-familles et 11 genres (Tableau 5).

Tableau 5 : Liste des espèces de termites collectées en saison des pluies dans 35 vergers des régions de Thiès et de Dakar, en 2012

Famille	Sous famille	Genre	Espèces
Rhinotermitidae	Coptotermitinae	Coptotermes	<i>Coptotermes sp1</i>
			<i>Coptotermes sp2</i>
	Psammotermitinae	Psammotermes	<i>Psammotermes hybostoma</i>
Termitidae	Amitermitinae	Amitermes	<i>Amitermes evuncifer</i>
		Microcerotermes	<i>Microcerotermes parvus</i>
			<i>Microcerotermes sp</i>
	Macrotermitinae	Ancistrotermes	<i>Ancistrotermes cavithorax</i>
			<i>Ancistrotermes sp</i>
		Macrotermes	<i>Macrotermes bellicosus</i>
			<i>Macrotermes subhyalinus</i>
		Microtermes	<i>Microtermes lepidus</i>
			<i>Microtermes sp</i>
		Odontotermes	<i>Odontotermes pauperans</i>
			<i>Odontotermes sp1</i>
	<i>Odontotermes sp2</i>		
	<i>Odontotermes sp3</i>		

	<i>Nasutitermitinae</i>	<i>Trinervitermes</i>	<i>Trinervitermes geminatus</i>
	<i>Termitinae</i>	<i>Promirotermes</i>	<i>Promirotermes holmgreni</i>
		<i>Angulitermes</i>	<i>Angulitermes nilensis</i>

Ces 19 espèces appartiennent à 4 groupes trophiques : les champignonnistes (*Ancistrotermes cavithorax* Sjöstedt, *Ancistrotermes* sp, *Macrotermes bellicosus* Smeathmann, *Macrotermes subhyalinus* Rambur, *Microtermes lepidus* Sjöstedt, *Microtermes* sp, *Odontotermes pauperans* Silvestri et *Odontotermes* spp.), les lignivores (*Coptotermes* spp, *Psammotermes hybostoma* Desneux, *Amitermes evuncifer* Silvestri, *Microcerotermes parvus* Haviland et *Microcerotermes* sp), les fourragères (*Trinervitermes geminatus* Wasmann) et les humivores (*Angulitermes nilensis* Harris et *Promirotermes holmgreni* Silvestri). Les espèces dominantes sont les champignonnistes (10 espèces) suivis par les lignivores (6 espèces). Contrairement aux espèces fourragères et humivores, toutes les espèces appartenant aux groupes des champignonnistes et des lignivores sont ravageuses de manguiers. Toutes les espèces ont été rencontrées dans les quatre localités géographiques étudiées (Ndoyenne, Pout, Thiès et Notto), à l'exception de trois espèces. L'espèce *Psammotermes hybostoma* n'a été rencontrée qu'à Ndoyenne et Notto. Les espèces *Coptotermes* sp1 et *Trinervitermes geminatus* n'ont respectivement été rencontrées qu'à Ndoyenne et à Pout.

5.1.3.2. Relations entre la diversité, la richesse spécifique et l'abondance des termites associés aux manguiers et les caractéristiques des vergers

La richesse spécifique et la diversité des termites sont significativement affectées par les pesticides (richesse: $\chi^2 = 8.15$, df = 3, P < 0.05 ; Figure 13A et diversité : $\chi^2 = 8.15$, df = 3 et P < 0.05 ; Figure 13D), la fertilisation (richesse : $\chi^2 = 7.57$, df = 2, P < 0.05 ; Figure 13C et diversité : $\chi^2 = 7.57$, df = 2, P < 0.05; Figure 13F) et la vigueur des arbres (richesse: t = 2.506, df = 28, P < 0.05, r = 0.42 ; Figure 13A et diversité : t = 2.844, df = 28, P < 0.05, r = 0.47; Figure 13B).

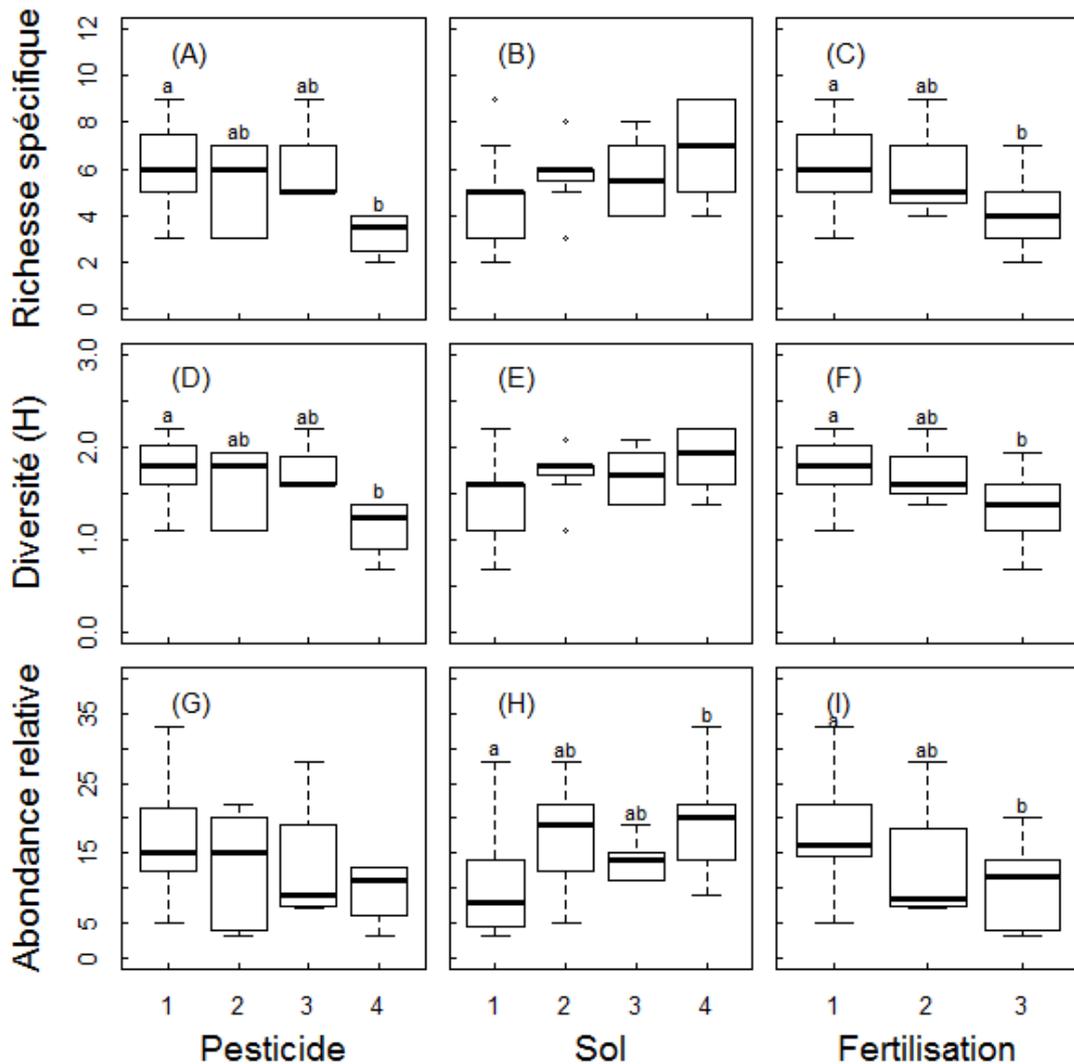


Figure 13 : Variations de la richesse spécifique, de la diversité et de l'abondance relative des termites dans les vergers en fonction du type de sol et des niveaux d'application des pesticides et de fertilisation des arbres.

Type de sol : (1) "sable", (2) "sable argileux", (3) "argile rouge" et (4) "argile noir"

Pesticide : (0) "pas utilisation", (1) "occasionnelle", (1 à 2 fois par an), (2) "régulière" (3 à 5 fois par an) et (3) "fréquente"(>5 fois par an).

Fertilisation : (1) "pas de fertilisation", (2) "modérée (<0.5 kg N par arbre / an) avec seulement de l'azote organique" et (3) "élevée ($\geq 0,5$ kg / arbre / an) avec de l'azote organique et minéral".

La richesse spécifique et la diversité des termites sont plus élevées dans les vergers non traités que dans les vergers traités fréquemment (i.e., plus de 5 fois par an) (Figure 13A et 13D). Elles sont également plus élevées dans les vergers non fertilisés que dans les vergers les plus fortement fertilisés (i.e., ≥ 0.50 kg N / arbre et par an) (Figure 13C et 13F) et augmentent avec la vigueur des arbres (Figure 14A et 14B). Par ailleurs, bien que la richesse spécifique ($\chi^2 = 6.53$, $df = 3$, $P < 0.1$; Figure 13B) et la diversité ($\chi^2 = 6.53$, $df = 3$, $P < 0.1$; Figure 13E) des termites ne soient que marginalement affectées par le type de sol, elles tendent à être plus élevées dans les vergers à sols argileux que dans les vergers à sol sableux. L'abondance des termites est significativement affectées par le type de sol ($\chi^2 = 8.84$, $df = 3$, $P < 0.05$; Figure 13H) et la fertilisation ($\chi^2 = 8.40$, $df = 2$, $P < 0.05$; Figure 13I). Les termites sont plus abondants dans les vergers à argile rouge que dans ceux à sol sableux. Ils sont également plus abondants dans les vergers non fertilisés que dans les vergers fortement fertilisés (≥ 0.50 kg N / arbre). Bien que l'abondance des termites ne soit pas significativement affectée par les pesticides ($\chi^2 = 4.80$, $df = 3$, $P < 0.1$; Figure 13G), une tendance similaire à l'effet observé des pesticides sur la richesse spécifique et la diversité des termites se dégage. L'abondance des termites tend à diminuer avec une utilisation croissante de pesticides. Par ailleurs, contrairement à la richesse spécifique et à la diversité des termites, l'abondance des termites n'est pas corrélée significativement avec la vigueur des arbres ($t = 1.58$, $df = 28$, $P > 0.05$, $r = 0.28$; Figure 14C). L'irrigation a un effet marginal sur la richesse spécifique, la diversité et l'abondance des termites (richesse spécifique : $\chi^2 = 4.83$, $df = 2$, $P < 0.1$; diversité : $\chi^2 = 4.83$, $df = 2$, $P < 0.1$ et abondance : $\chi^2 = 5.79$, $df = 2$, $P < 0.1$). La biodiversité et l'abondance des termites diminuent avec l'irrigation des arbres. Les autres variables, dont le maraichage, la taille, la litière, la couverture du sol et l'entretien du sol, n'ont pas d'effets significatifs sur la richesse spécifique, la diversité et l'abondance des termites.

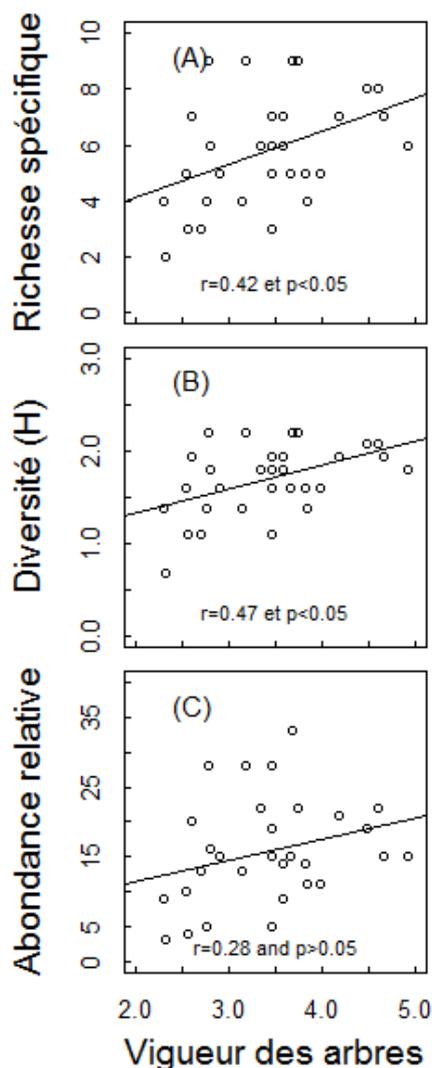
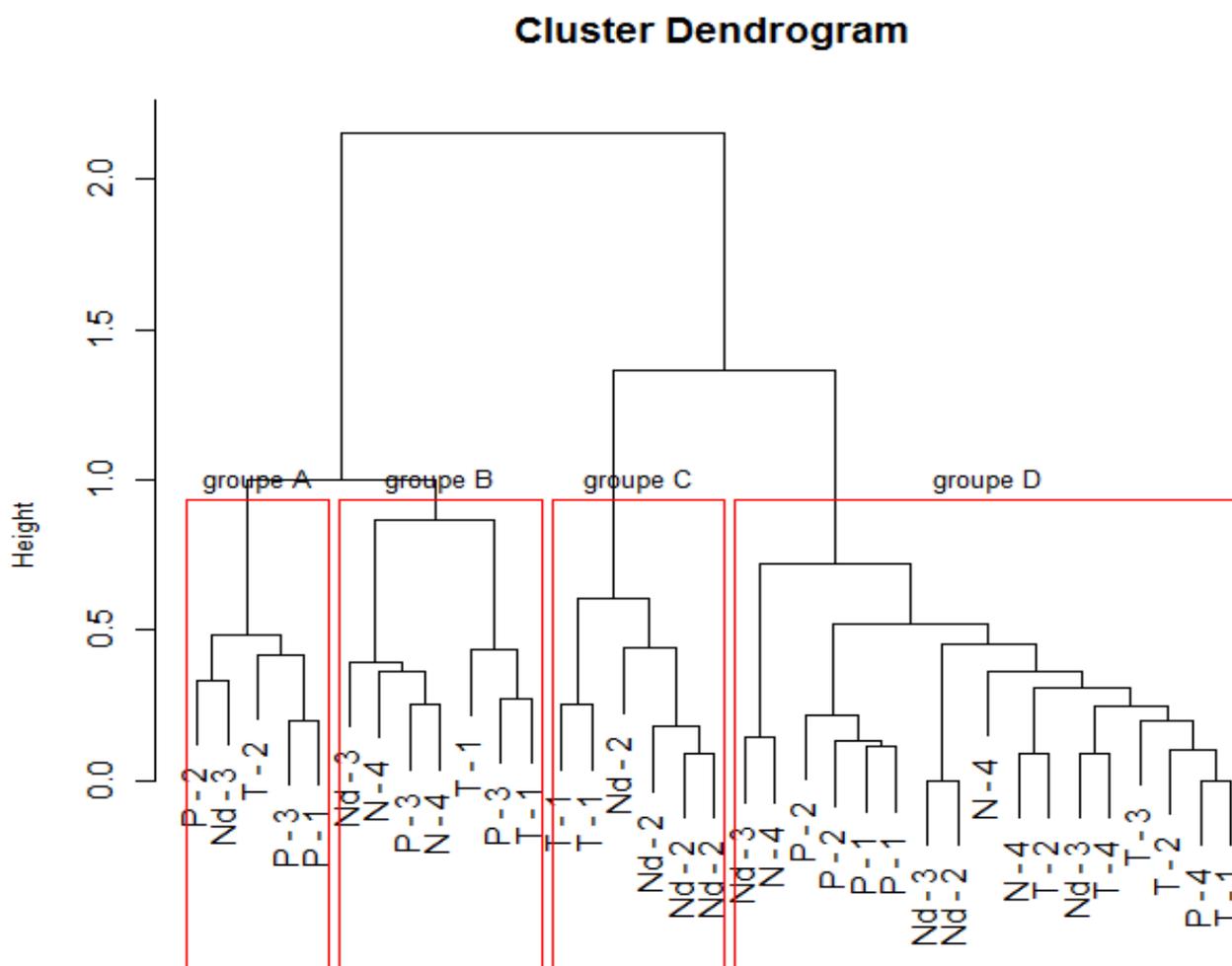


Figure 14 : Variation de la richesse spécifique, de la densité et de l'abondance relative des termites en fonction de la vigueur des arbres dans les vergers.

Vigueur : (1) "arbre est mort", (2) "au moins une branche de l'arbre est morte", (3) "plus de 20 % des branches qui soutiennent les dernières unités de croissance se sont desséchées", (4) "plus de 20 % des dernières unités de croissance se sont desséchées" et (5) "l'arbre est sain et vigoureux".

5.1.3.3. Relation entre la composition des communautés de termites associées aux manguiers et les caractéristiques des vergers

La classification des vergers basée sur la composition des communautés de termites associés aux manguiers a permis de les regrouper en quatre groupes (A, B, C et D) composés de 9, 6, 5 et 15 vergers respectivement (Figure 15).



Le type de verger et leur localisation

Figure 15 : Dendrogramme regroupant les vergers Sénégalais en 4 groupes (A, B, C et D) selon leur ressemblance dans la composition de la communauté de termites.

L'étiquette du verger est constituée de lettre indiquant sa localité (T = Thiès, P = Pout, N = Notto et Nd = Ndoyenne) suivi d'un numéro indiquant le type de verger issu de la typologie basée sur la conception et les pratiques de gestion : (1) « Vergers de manguiers diversifiés sans intrants », (2) « Vergers de manguiers à faibles intrants », (3) « Vergers à *Citrus* prédominants avec niveau intermédiaire d'intrants » et (4) « Grands vergers de manguiers ou de *Citrus* prédominants avec niveau intermédiaire d'intrants ».

L'abondance relative des 19 espèces de termites recensées dans les vergers est représentée pour chacun de ces 4 groupes sur la figure 16.

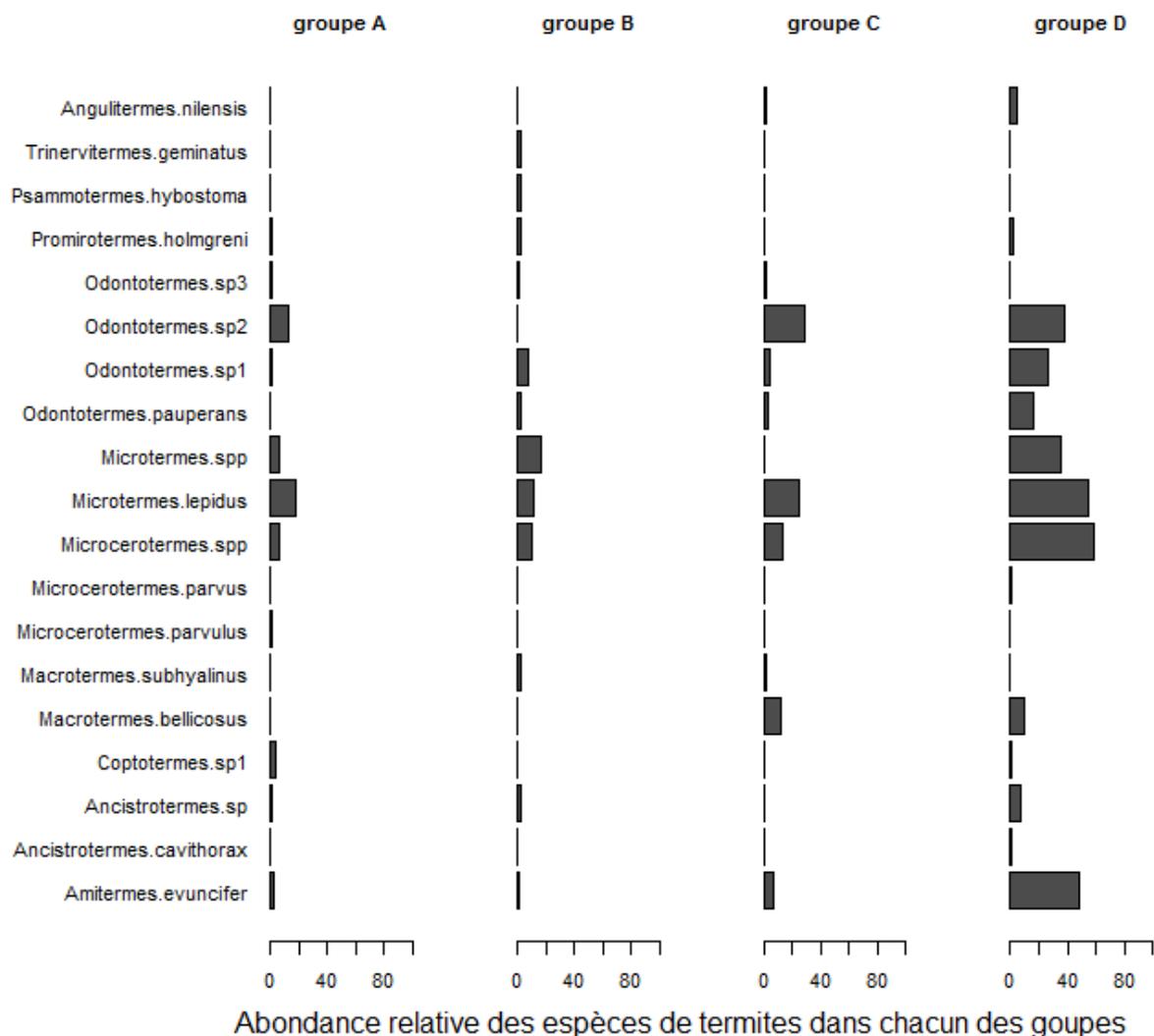


Figure 16 : Abondance relative des espèces de termites dans les 4 groupes de vergers (A, B, C et D) définis en fonction de la ressemblance de leur communauté de termites.

Les valeurs sont en pourcentage de manguiers sur lesquels une espèce de termite était présent en fonction du nombre total d’arbres échantillonnés dans tous les vergers des groupes (par exemple, 360, 240, 200, 600 arbres respectivement dans les groupes A, B, C et D).

L’abondance relative d’une espèce dans un groupe représente le pourcentage d’arbres sur lesquels l’espèce est présente en référence à l’ensemble des arbres fouillés dans tous les vergers composant le groupe. Le groupe A est constitué de 12 espèces de termites dont les plus abondantes sont respectivement : *Microtermes lepidus*, *Microtermes sp*, *Microcerotermes sp*, *Odontotermes sp2* et *Odontotermes sp1*. Ce groupe A est représenté à hauteur de 78 % dans les

vergers en bon état et à 22 % dans les vergers en mauvais état. Le groupe B est constitué de 8 espèces de termites dont les plus abondantes sont respectivement : *Odontotermes sp2*, *Microtermes lepidus*, *Amitermes evuncifer*, *Microcerotermes sp* et *Macrotermes bellicosus*. Ce groupe est représenté à 17 % dans les vergers en bon état et à 83 % dans les vergers en mauvais état. Dans ces deux groupes, l'abondance relative des espèces n'excède pas 40 %. Le groupe C n'est constitué que de 5 espèces (*Amitermes evuncifer*, *Microcerotermes sp*, *Microtermes sp*, *Odontotermes sp1* et *Trinervitermes geminatus*) faiblement abondantes (abondance relative < 10 %). Le groupe C est représenté à 100 % dans les vergers en bon état. Le groupe D présente la plus forte diversité et abondance en termites. Il est constitué de 16 espèces de termites dont les plus abondantes sont respectivement : *Microcerotermes sp*, *Microtermes lepidus*, *Odontotermes sp2*, *Microtermes lepidus*, *Microtermes sp*, *Amitermes evuncifer*, *Odontotermes sp1*, *Odontotermes pauperans* et *Macrotermes bellicosus*. L'abondance relative des 6 premières espèces varie entre 30 et 60 %. Ce groupe est constitué de 80 % de vergers en bon état et de 20 % de vergers en mauvais état. Le pourcentage élevé des vergers en bon état dans les groupes A, C et D témoignent de la faiblesse des dégâts des termites. Par contre le faible pourcentage des vergers en bon état dans le groupe B témoigne de l'ampleur des dégâts des termites dans ce groupe.

L'association entre les quatre communautés de termites ainsi définies et les types de vergers définis sur la base de leur conception et des pratiques de gestion d'une part et les localités géographiques d'autre part est représentée sur la Figure 10. Ces communautés de termites ne sont pas significativement associées à la typologie des vergers basée sur la conception et les pratiques de gestion (Fisher' exact test: $P > 0.05$). Par contre il existe une association significative entre ces communautés de termites et les localités géographiques (Fisher' exact test: $P < 0.05$). Le groupe A est plutôt associé à la zone de Pout (56 %). Le groupe B est associé à la zone de Ndoienne (83 %). Le groupe C est plutôt associé à la zone de Notto (60 %). Le groupe D est associé aux localités de Pout et de Thiès (73 %).

5.1.4. Discussion

5.1.4.1. La richesse et la composition spécifique des termites dans les localités géographiques

Cette étude a permis le recensement de 19 espèces de termites associées aux manguiers. Ce nombre d'espèces est en accord avec les études précédentes effectués avec les mêmes techniques de récoltes au niveau des vergers de Dakar, de Thiès, de Saint Louis et en Casamance qui ont révélés respectivement 11, 19, 8 et 17 espèces de termites (Han et Ndiaye, 1996 ; Ndiaye et Han, 2000, Ndiaye et Han, 2002). Les travaux menés dans des plantations de Teck au Togo ou dans des cacaoyères en Côte d'Ivoire indiquent aussi une faible diversité spécifique dans ces agrosystèmes (Akpesse et *al.*, 2008 ; Crolaud et *al.*, 2010 ; Gbenyedji et *al.*, 2011). Ces valeurs sont en effet très inférieures à celles obtenues dans des milieux naturels avec par exemple 80 espèces répertoriées dans la forêt du Mayombe (Congo) et 110 espèces dans la forêt de Mbalmayo au Cameroun (Davies et *al.*, 1999 ; Eggleton et *al.*, 2002). Une étude menée en Côte d'Ivoire a montré que les espèces rencontrées en milieu cultivé sont rencontrées en milieu naturel et que les milieux naturels sont plus diversifiés que les milieux cultivés (Crolaud et *al.*, 2010).

Toutes les espèces de termites recensées dans les vergers des localités géographiques de Thiès et de Dakar sont des ravageurs potentiels du manguiers à l'exception de *Trinervitermes geminatus*, *Promirotermes holmgreni* et *Angulitermes nilensis* (Ndiaye et Han, 1996 ; Zaremski et *al.*, 2009). Les espèces champignonnistes et lignivores sont dominantes. Deux auteurs ont confirmé cette dominance des champignonnistes et des lignivores respectivement dans les vergers de Thiès et de Saint Louis (Ndiaye et Han, 2000). L'espèce *Psammotermes hybostoma*, rencontrée uniquement dans les deux localités à sol sableux de Notto et Ndoyenne, a également été signalée précédemment (Sarr et *al.*, 2005). L'espèce *Amitermes evuncifer* et le genre *Odontotermes* ont été rencontrés dans toutes les localités étudiées. La large répartition de ces espèces à travers les localités du Sénégal a déjà été remarquée (Sarr et *al.*, 2005).

5.1.4.2. Relations entre la diversité, la richesse spécifique et l'abondance des termites associés aux manguiers et les caractéristiques des vergers

Les résultats montrent que la diversité et la richesse spécifique des termites sont positivement corrélées au bon état végétatif des arbres. L'étude a également montré que la diversité et la richesse spécifique des termites diminuent avec les applications de pesticide. Ce résultat confirme ceux de Black et *al.* (1997) qui ont montré que les pratiques telles que le labour profond, l'utilisation de pesticide, la monoculture et la réduction de la jachère diminuent

la diversité des termites en milieu agricole. La réduction de la diversité par les applications de pesticide, la monoculture et le labour a aussi été soulignée par Altieri (1999). L'effet seulement marginal des applications de pesticides sur l'abondance des termites pourrait s'expliquer par le fait que les pesticides utilisés dans les vergers ne sont pas spécifiques aux termites. Il a également été montré que d'autres pratiques telles que le travail continu du sol réduit la diversité des termites dans les savanes (Brussaard et *al.*, 2007 ; Susilo et *al.*, 2009 ; Coulibaly et *al.*, 2013) ou l'abondance des ennemis des cultures de façon générale (Susilo et *al.*, 2009). Contrairement à ces études, nos résultats n'ont pas mis en évidence un effet significatif de l'entretien du sol sur la biodiversité et l'abondance des termites. L'étude montre aussi que l'abondance des termites est significativement plus élevée dans les sols à argile rouge que dans les sols sableux. Le besoin des termites en argile pourrait expliquer leur abondance dans les sols argileux (Bachelier, 1977). En effet, l'utilisation de structures peu compactes et riches en matière organiques pour la construction des termitières a été souligné (Decaëns et *al.*, 2001). Ce résultat se rapproche des travaux de Sarr et *al.* (2005) qui ont montré que l'abondance des termites dépend des conditions édaphiques.

Ces résultats montrent que la richesse, la diversité spécifique et l'abondance des termites diminuent significativement avec la fertilisation. Altieri (1999) a montré que de façon générale la fertilisation minérale a un effet négatif sur la diversité des ennemis des cultures tandis que Traoré et *al.* (2012) ont montré que l'apport de matières organiques exogènes (paille et fumier) est bénéfique sur la diversité de la macrofaune du sol en station. En effet, la paille et le fumier contiennent respectivement 46 % et 8 % de cellulose (Hien, 2004), aliment principal des termites. C'est pourquoi leurs apports, riches en cellulose, attirent toujours les termites. Nos observations tendent à confirmer ces résultats puisque la biodiversité et l'abondance des termites sont plus faibles dans les vergers fertilisés sous forme minérale que ceux fertilisés sous forme uniquement organique ou non fertilisés. Les vergers non fertilisés correspondent à des vergers peu entretenus dont la litière abondante constitue un apport de matière organique.

5.1.4.3. Relation entre la composition des communautés de termites associées aux manguiers et les caractéristiques des vergers

La répartition des groupes de termites dépend principalement de la localité géographique. Ackerman et *al.* (2009) ont montré que les caractéristiques des espèces cultivées peuvent mieux déterminer l'assemblage des termites que la diversité végétale seule dans les agrosystèmes forestiers. Sarr et *al.* (2005) ont montré de façon générale que les conditions climatiques et édaphiques sont responsables de la répartition et de l'abondance des termites. L'importance de

la saison et de la végétation sur des structures biogéniques dans l'assemblage des communautés de termites a été soulignée (Mora et al., 2006) dans les vergers. Des études ont montrées une baisse de la richesse générique (Jones et Eggleton, 2011), de la richesse et l'abondance des espèces de termites (Canello et al., 2014) avec la latitude dont l'influence est principalement expliquée par la température, les précipitations et l'évapotranspiration potentielle. La structure des communautés de termites n'est pas liée aux types de vergers. Cependant certaines pratiques telles que les applications de pesticides et la fertilisation peuvent aider à expliquer la diversité et l'abondance des communautés de termites réparties dans les groupes.

Les pratiques culturales (pesticide, fertilisation) plus intensives menées dans les vergers des types 3 et 4 (55 % des vergers du groupe) pourraient expliquer la richesse spécifique moyenne observée dans le groupe A. Le sol à argile rouge de la localité de Pout pourrait par ailleurs expliquer les abondances moyennes des espèces de termites notées dans ce groupe. Par contre dans le groupe B, le pourcentage élevé de vergers des types 1 et 2 (83 %) ne permet pas d'expliquer la faible richesse spécifique des termites observée dans ce groupe. En effet compte tenu de l'absence ou du faible apport des intrants chimiques et des fertilisants, on aurait pu s'attendre au contraire à observer une augmentation de la richesse spécifique des termites dans les vergers de ce groupe. Le sable argileux ne permet pas non plus d'expliquer l'abondance moyenne des termites notée dans ce groupe. Dans ce groupe B, 83% des vergers sont en mauvais état, ce qui nous amène à considérer qu'une faible richesse spécifique des termites et une abondance moyenne des termites favoriseraient la prolifération d'espèces particulièrement nuisibles aux manguiers. Sur les 8 espèces qui constituent ce groupe B, les 5 espèces les plus abondantes causent d'importants ravages sur manguiers. Ndiaye et Han (2006) ont montré que les termites lignivores (*Microcerotermes* et *Amitermes*) et champignonnistes (*Microtermes* et *Odontotermes* surtout) sont à l'origine de sérieux dégâts pouvant aller jusqu'au dépérissement des arbres attaqués. La simplification des agroécosystèmes peut favoriser la prolifération d'espèces dominantes et pouvant devenir néfaste dans le système (bioagresseurs ou compétiteurs intraguildes). Ce phénomène relativement connu est d'autant plus néfaste si les espèces dominantes véhiculent des maladies virales ou fongiques dans les vergers comme cela fut montré par Koné et al. (2003). Une étude récente dans la même zone d'étude a révélé une association très forte entre les vergers de type 4 (faible diversité végétale, plus d'application de pesticides et d'apports en fertilisants) avec la fourmi *Monomorium salomonis* (espèce anthropophile) (Diamé et al., 2015). Dans le groupe C, le pourcentage important de vergers des types 3 et 4 (80 %), caractérisés par des niveaux intermédiaires d'intrants et les apports

satisfaisant de fertilisants, peuvent expliquer en partie la très faible richesse spécifique des termites. Ces pratiques intensives expliqueraient par ailleurs le bon état des vergers de ce groupe. La très faible abondance des termites pourrait s'expliquer par le sol sableux, les pesticides et la fertilisation des arbres. Le très bon état des vergers de ce groupe (100 %) pourrait s'expliquer par les très faibles abondances des termites. Le groupe D présente une grande richesse des termites et une grande abondance des termites. L'absence des apports de fertilisants et de pesticides dans 60 % des vergers des types 1 et 2 n'explique pourtant pas cette grande diversité. De même, les 53 % des vergers à sol argileux n'expliquent qu'en partie ces fortes abondances. Une grande richesse et une grande abondance des termites pourraient favoriser un équilibre écologique des termites se traduisant par la faiblesse des dégâts des termites (20 % de vergers en mauvais état). Ce résultat se rapproche de ceux de Sarr (1999) qui a remarqué que l'état d'équilibre des populations joue un rôle important sur les mécanismes d'attaque par les termites. Il a aussi souligné que la diversité des niches écologiques dans les milieux peu perturbés peut réduire l'effet ravageur des termites.

5.1.5. Conclusion et perspectives

Cette étude a permis de montrer que certains types de sols sont plus ou moins favorables à l'abondance des termites. Ainsi, elle est plus élevée dans les sols à argile rouge que dans les sols sableux. Le type de sol est donc un bon indicateur du risque potentiel d'abondance et de dégâts des termites dans les vergers à base de manguiers. Notre étude a également montré que la diversité et la richesse spécifique des termites sont positivement corrélées à la vigueur des arbres et diminuent avec les applications de pesticides et les apports de fertilisants. Ces résultats, en particulier l'effet de la vigueur des arbres et des apports de fertilisants, constituent de nouvelles observations au niveau des vergers à base de manguiers. Ces résultats peuvent conduire à des applications nouvelles dans la gestion de ces vergers afin de limiter les dégâts dus aux termites. Selon Sarr (1999) l'état d'équilibre des populations joue un rôle important sur les mécanismes d'attaques par les termites. Il a montré que la diversité des niches écologiques dans les milieux peu perturbés peut réduire l'effet ravageur des termites. Selon ces résultats, qui sont en accord avec le postulat que les milieux plus diversifiés sont plus stables que les milieux perturbés (Eggleton et *al.*, 2002), une stratégie de gestion des termites pourrait passer par la promotion de leur biodiversité dans les agrosystèmes par la préconisation de pratiques de gestion adaptées. Rouland-Lefèvre (2011) a déjà souligné l'importance des pratiques visant à améliorer l'état végétatif des arbres dans la gestion des termites.

Malgré tout, nous pensons que des études complémentaires visant à montrer plus clairement les relations entre la biodiversité des termites et leurs dégâts dans les agrosystèmes sont nécessaires. Autrement dit, il faudra chercher à savoir dans quelles circonstances les termites deviennent des ravageurs au point d'entraîner le dépérissement des manguiers et dans quelle mesure une augmentation de la biodiversité des termites permettrait de réduire les ravages des termites dans les agrosystèmes. Nous pensons également que la mesure de certaines variables ayant des effets marginaux sur la biodiversité des termites dans les agrosystèmes, telles que l'irrigation, le travail du sol, la litière, doit être affinée afin de mieux préciser leurs effets sur la biodiversité et l'abondance des termites dans les vergers de manguiers.

ARTICLE 4

Le dépérissement des manguiers : effets des caractéristiques des vergers et leurs pratiques de gestion et les dégâts des termites dans les agrosystèmes à base de manguiers

Résumé

Introduction. Depuis quelques années, le dépérissement des manguiers dû aux termites est signalé par les arboriculteurs comme un problème récurrent. Plusieurs auteurs ont contribué à mieux connaître les termites associés aux manguiers et leurs modalités d'attaques, mais sans pour autant faire le lien avec le dépérissement de l'arbre. Ainsi, nous cherchons dans un premier temps à expliciter le lien entre la présence des termites, leurs dégâts à la base du tronc et des racines, et le niveau de dépérissement du houppier. Dans un second temps nous chercherons à évaluer le lien entre les caractéristiques des vergers relatives à leurs modes conception et leurs pratiques de gestion sur l'état des arbres et les dégâts des termites. **Matériel et méthodes.** Les observations ont été réalisées dans 35 vergers de 5 localités géographiques des régions de Thiès et de Dakar (Sénégal). Un échantillonnage aléatoire des arbres a été réalisé à partir duquel les termites ont été inventoriés et les dégâts sur tronc et racines et le niveau de dépérissement du houppier ont été évalués. Des indices d'attaques des arbres par les termites et d'état de dépérissement des arbres ont été calculés puis reliés aux caractéristiques des vergers. **Résultats.** Le dépérissement des manguiers est dû aux dégâts provoqués par les termites à la base du tronc et des racines. L'indice d'attaque est plus faible dans les vergers bien irrigués, taillés et recevant des doses de fertilisants et de pesticides modérées. L'indice d'état des arbres et l'indice d'attaque des termites varient en fonction des caractéristiques du sol, du type de verger et de la localité géographique. **Discussion et Conclusion.** La présence des termites à la base du tronc et des racines génère des dégâts sur le manguiers qui entraîne le dépérissement progressif du manguiers. Certaines variables de la conception et des pratiques de gestion des vergers peuvent réduire l'indice d'attaque des termites. Ces résultats, observés pour la première fois dans les agrosystèmes de manguiers, devraient aider aux producteurs à contrôler efficacement et durablement les termites avec les pratiques de gestion.

Mots clés : Verger / Manguiers / Terme / Agrosystème / Dépérissement / Conception / Pratiques de gestion

5.2.1. Introduction

En Afrique de l'ouest, les agrosystèmes à base manguiers présentent trois caractéristiques : (i) une très grande diversité des motivations des producteurs, des modes de conduite, des niveaux d'intensification, et de la composition végétale naturelle et cultivée, (ii) la juxtaposition de ces agrosystèmes formant de grands ensembles et (iii) une grande diversité des caractéristiques physiques du milieu (sols, microclimat etc.) pouvant varier à de faibles distances (Vannière et *al.*, 2004). Les vergers sénégalais à base de manguiers, situés plus particulièrement dans les Régions de Thiès et Dakar, sont eux aussi très diversifiés par leur composition végétale ainsi que par leurs modes de conception et de gestion (Grechi et *al.*, 2013).

Depuis quelques années au Sénégal, le dépérissement de la partie aérienne des manguiers est signalé par les producteurs comme un problème récurrent. Au Mali, ce dépérissement des manguiers a été signalé depuis les années 1960 (Rey, 1972). Il peut être causé par des maladies fongiques, un stress hydrique et des ravageurs tels les termites.

Les termites occupent une place importante dans le fonctionnement des écosystèmes (Lavelle et *al.*, 1997 ; Duboisset et *al.*, 2005 ; Jouquet et *al.*, 2006). Ils sont considérés comme des ingénieurs du sol (Decaëns et *al.*, 2001 ; Mora et *al.*, 2005) et sont utilisés dans la réhabilitation des sols dégradés (Tilahun et *al.*, 2012). Malgré ce rôle positif, ils sont décrits comme de redoutables ravageurs de plusieurs essences végétales (Akpesse et *al.*, 2008 ; Crolaud et *al.*, 2008 ; Mbenyedji et *al.*, 2011 ; Rouland, 2011 ; Faye et *al.*, 2014). Les termites seraient responsables des dépérissements observés sur les essences fruitières, et en particulier le manguiers. Un manguiers en dépérissement qui est traité efficacement contre les termites retrouvera progressivement sa vigueur (Rey, *commun. Pers.*). Au Sénégal, deux auteurs ont montré la nuisance des termites sur les essences fruitières (Han et Ndiaye, 1996 ; Ndiaye et Han, 2000). Ils ont largement contribué à la connaissance des termites associés aux arbres fruitiers et de leurs modalités d'attaques (Ndiaye et *al.*, 2006). En revanche, à notre connaissance, aucune étude n'a permis d'établir de relations entre la présence des termites à la base du tronc et des racines, leurs dégâts et les niveaux de dépérissement du manguiers.

Par ailleurs les effets des pratiques telles que la monoculture ou les applications de pesticides sur la diversité des termites ont fait l'objet d'études en milieu tropical (Black et *al.*, 1997). Cependant, des études mettant en relation les effets des pratiques de gestion des vergers et les dégâts des termites ont peu ou rarement été entreprises. Au Sénégal, de telles études n'ont jamais été entreprises. La connaissance des pratiques de gestion des vergers qui augmentent ou

réduisent les dégâts des termites dans les vergers sont pourtant indispensables à la mise en place de stratégies de gestion durables des termites dans ces agrosystèmes.

Nos recherches ont pour objectifs : (1) d'étudier les liens entre la présence de termites à la base du tronc et des racines des manguiers, les dégâts causés par les espèces de termites associés aux manguiers, et le dépérissement de la partie aérienne de l'arbre et (2) d'étudier les effets des pratiques de gestion et des caractéristiques des vergers sur les dégâts des termites et l'état des arbres. Ces études nous permettront de comprendre dans quelles circonstances les termites induisent un dépérissement des manguiers et d'identifier les pratiques de gestion des vergers qui peuvent réduire les dégâts des termites dans les agrosystèmes de manguiers.

5.2.2. Matériel et méthodes

5.2.2.1. Présentation de la zone d'étude

Cette étude a été réalisée dans 35 vergers à base de manguiers localisés dans 5 localités (Thiès, Pout, Ndoienne, Gora Leye et Notto) des régions de Thiès et de Dakar, au Sénégal (Figure 17). Les 35 vergers sont répartis dans les 5 localités à raison de 5 vergers par site dans les localités de Ndoienne, Gora Leye et Notto et 10 vergers par site dans les localités de Thiès et Pout. La pluviométrie varie, depuis 2008 à 2012, entre 600 et 750 mm de juillet à Septembre. Ce climat favorable à l'arboriculture fruitière reste influencé par les vents frais et humides.

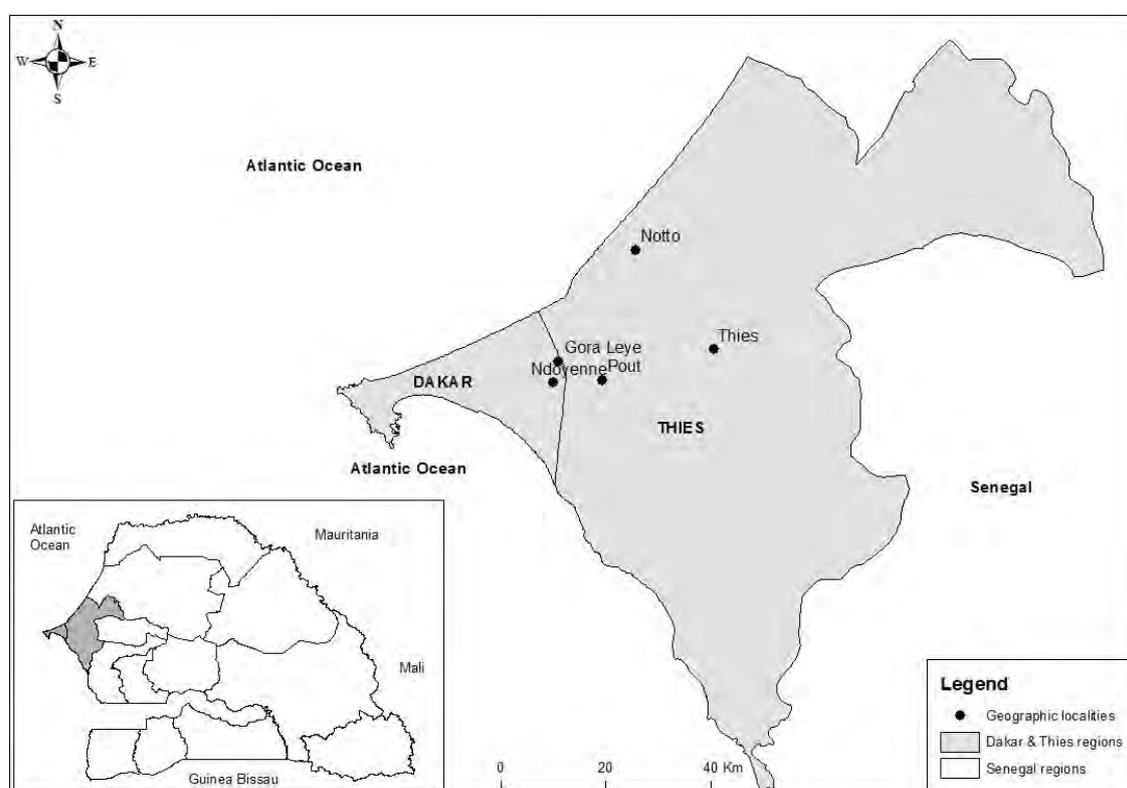


Figure 17 : Carte représentant les différentes localités géographiques étudiées

5.2.2.2. Echantillonnage des termites dans les sites étudiés

L'échantillonnage des termites de l'ensemble des vergers a été effectué suite à un sondage sur 40 pieds de manguiers par verger. Au niveau de chaque arbre examiné par une fouille systématique (Han et Ndiaye, 1996) on prélève les termites qui sont présents sur l'arbre (préférentiellement les soldats) à l'aide d'une pince souple. Les termites ravageurs seront recherchés au niveau des placages, des galeries et du tronc (jusqu'à 20 cm de profondeur). Les termites récoltés sont conservés dans les tubes entomologiques contenant de l'alcool 90°C. Sur chaque tube, on a noté la date de récolte, le numéro de l'arbre échantillonné (1 à 40) et le code du verger. Les espèces de termites ont été dénombrées, classées en morphotypes et ont été identifiées jusqu'à la morpho-espèce à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) au sein de l'UMR iEES Paris (France).

5.2.2.3. Evaluation de l'état des arbres et des dégâts des termites dans les vergers

Pour chaque verger, cette évaluation a été faite sur les mêmes 40 pieds sur lesquels ont été prélevés les termites. A chaque arbre examiné, deux notes sont attribuées : une première note caractérisant l'état de dépérissement de l'arbre et une seconde note caractérisant l'intensité des dégâts observés sur le tronc et à 20 cm de profondeur de l'arbre.

5.2.2.3.1. Evaluation de l'état de dépérissement des arbres : indice d'état (IE)

a) Evaluation du niveau de dépérissement des arbres

Pour évaluer l'état de dépérissement des arbres, nous avons définis 5 niveaux d'état des arbres basés sur la nature des organes de l'arbre qui sont desséchés et morts (Rey, 1974) :

- ❖ **Niveau 1** : l'arbre est sain et vigoureux (Figure 18)



Figure 18 : Un manguier présentant un état végétatif de type 1

- ❖ **Niveau 2** : au moins 20 % des dernières unités de croissances de l'arbre fruitier se sont desséchées (Figure 18).



Figure 19 : Un manguier présentant un état de type 2

- ❖ **Niveau 3** : au moins 20 % des branches qui soutiennent les dernières unités de croissance de l'arbre fruitier se sont desséchées (Figure 20)



Figure 20 : Un manguiers présentant un état végétatif de type 3

- ❖ **Niveau 4** : au moins une branche maitresse du manguiers est morte (Figure 21)



Figure 21 : Un manguiers présentant un état végétatif de type 4

❖ **Niveau 5** : l'arbre est mort ou est manquant (Figure 22)



Figure 22 : Un manguiers mort présentant un état végétatif de type 5

b) Calcul de l'indice d'état (IE) arbres

L'indice d'état (IE) du verger a été calculé à partir des niveaux de dépérissement observés sur les 40 arbres du verger selon la formule suivante :

$$IE = (N1 \times 0 \%) + (N2 \times 25 \%) + (N3 \times 50 \%) + (N4 \times 75 \%) + (N5 \times 100 \%) / (N1 + N2 + N3 + N4 + N5) ; \text{ où } Ni \text{ est le nombre de pieds de niveau } i.$$

L'indice d'état (IE) varie entre 0 et 1. Lorsqu'il est proche de 0, les arbres du verger sont en très bon état et lorsqu'il est proche de 1, les arbres du verger sont en très mauvais état.

5.2.2.3.2. Evaluation des dégâts des termites sur les arbres : indice d'attaque (IA)

a) Evaluation des dégâts causés par les termites sur les arbres

Les dégâts des termites sur les arbres fruitiers sont classés en cinq groupes. Cette classification est définie en fonction de l'intensité des attaques. Autrement dit, elle est basée sur la progression des dégâts dans les structures anatomiques internes du manguiers. Selon Han et Ndiaye (1996), un organe est dit attaqué s'il porte des galeries ou des placages avec ou sans termites. Nous avons défini 5 classes de dégâts :

- ❖ **Classe 1** : les dégâts dû aux termites ne sont pas observés sur le tronc (jusqu'à 20 cm de profondeur) et sur les branches de l'arbre (Figure 23).



Figure 23 : Un tronc de manguiers présentant une classe de dégâts de type 1

- ❖ **Classe 2** : l'arbre est sain mais présente de faibles dégâts ou lésions superficielles visibles sur le tronc et / ou les branches et / ou à 20 cm de profondeur du sol. Les dégâts peuvent être récents, primaires ou secondaires (Figure 24).



Figure 24 : Un tronc de manguiers présentant une classe de dégâts de type 2

- ❖ **Classe 3** : les dégâts sont externes et profondes sur l'écorce et sur l'aubier (Figure 25).



Figure 25 : Un tronc de manguiers présentant une classe de dégâts de type 3

- ❖ **Classe 4** : les dégâts sont internes et profondes sur le tronc, les racines ou sur les branches. (Figure 26).



Figure 26 : Un tronc de manguiers présentant une classe de dégâts de type 4

- ❖ **Classe 5** : les dégâts sont profonds et peuvent atteindre le cœur du tronc chez les grands arbres ou sectionner complètement le tronc chez les jeunes manguiers de moins de 5 ans (Figure 27).



Figure 27 : Un jeune manguiers mort (gauche) avec un tronc (droite) présentant une classe de dégâts de type 5

b) Calcul de l'indice d'attaque (IA) des arbres par les termites

L'indice d'attaque (IA) du verger a été calculé à partir des classes de dégâts des termites observées sur les 40 arbres du verger selon la formule suivante :

$$IA = (C1 \times 0 \%) + (C2 \times 25 \%) + (C3 \times 50 \%) + (C4 \times 75 \%) + (C5 \times 100 \%) / (C1 + C2 + C3 + C4 + C5) ; \text{ où } C_i \text{ est le nombre de pieds de classe } i.$$

L'indice d'attaque (IA) varie entre 0 et 1. Lorsqu'il est proche de 0, les arbres du verger sont faiblement attaqués et lorsqu'il est proche de 1, les arbres du verger sont fortement attaqués.

5.2.2.4. Les variables des caractéristiques des vergers et des pratiques de gestion

Tous les vergers choisis ont préalablement été caractérisés (conception : surface et la densité de plantation ; pratiques de gestion : irrigation, fertilisation, traitements pesticides, taille, maraichage, entretien du verger, pâturage, ramassage des fruits, ... ; état de la végétation : espèces fruitières cultivées, vigueur des arbres, taux de mortalité, la litière, la couverture du sol ...) (Grechi *et al.*, 2013) (Tableau 4). Le type de sol de chaque verger choisi a été noté. Au total,

4 types de sol ont été définis selon leur structure et leur texture : (1) « sable », (2) « sable argileux », (3) « argile noire » et (4) « argile rouge ». La caractérisation des vergers réalisée par Grechi et al. (2013) a permis de les regrouper en quatre types de systèmes de culture selon leurs modèles de conception et leurs pratiques de gestion : (1) les vergers de manguiers diversifiés sans intrants, (2) les vergers de manguiers à faibles intrants, (3) les vergers à Citrus prédominants avec un niveau intermédiaire d'intrants et (4) les grands vergers de manguiers ou de Citrus prédominant avec des niveaux intermédiaires d'intrants. Dans cette même étude, il avait été observé que le taux de mortalité des arbres dans les vergers de type (1) et (2) est plus élevé que dans celui des vergers de type (3) et (4).

Les variables d'intérêt sont choisies parmi celles ayant servi à la caractérisation des agrosystèmes. En effet, une variable est considérée comme présentant un intérêt lorsqu'elle est susceptible d'influencer la biodiversité des termites mais aussi les dégâts provoqués par les termites. Le choix de ces variables repose sur l'expérience des auteurs, sur les données tirées de la littérature mais aussi des observations faites sur le terrain. Les variables choisies pour réaliser les analyses sont : la densité de plantation, la fertilisation, les traitements pesticides, l'entretien du sol, la taille des arbres, le maraichage en culture secondaire dans le verger, la couverture du sol, la litière, la vigueur des arbres, le système de culture, la localité géographique et le type de sol.

5.2.2.5. Analyses statistiques

Les relations entre la présence des termites, leurs dégâts sur le tronc et/ou sur les racines et le dépérissement des manguiers ont été testés grâce à un test d'homogénéité du Chi². Pour cela, nous avons d'abord transformé les données d'abondance des termites en présence et absence. Ensuite, les classes de dégâts et niveaux d'état de dépérissement ayant de faibles effectifs ont été regroupés afin de respecter la règle de Cochran pour l'application du test du Chi². Les classes de dégâts et niveaux d'état concernés sont les groupes 4 et 5. Selon les cas, ils ont été regroupés soit en un seul groupe 4+ (regroupant les classes/niveaux 4 et 5) ou 3+ (regroupant les classes/niveaux 3, 4 et 5). La relation entre l'intensité des dégâts et le niveau de dépérissement des arbres a également été évaluée à l'échelle des vergers à l'aide d'un test de corrélation de Spearman entre les indices d'attaque et d'état des arbres.

L'effet de la localisation des vergers, de leur type de sol ainsi que de leurs caractéristiques relatives à leur mode de conception et aux pratiques de gestion sur l'état des arbres et les dégâts des termites ont été évalués à l'aide de tests non paramétriques : test de

corrélation de Spearman pour les variables quantitatives et du test de Kruskal-Wallis pour les variables qualitatives. Le test multiple de Kruskal-Wallis a été utilisé pour séparer les modalités des facteurs lorsqu'un effet significatif a été observé.

Toutes les analyses et les graphiques ont été réalisés à l'aide du logiciel R (R Development Core Team, 2011).

5.2.3. Résultats

5.2.3.1. Diversité des espèces de termites associés aux manguiers dans les agrosystèmes à base d'arbres fruitiers

L'inventaire systématique des espèces de termites ravageurs réalisé dans les cinq (5) sites des régions de Thiès et de Dakar a permis le recensement de vingt-trois (23) espèces (Tableau 6). Ces espèces sont réparties en deux familles (Termitidae et Rhinotermitidae), en trois sous-familles et en neuf (9) ordres. De toutes les espèces décrites, seule l'espèce *Amitermes evuncifer* est rencontrée dans tous les sites. Les espèces *Ancistrotermes cavithorax*, *Odontotermes vulgaris* et *Promirotermes holmgreni* sont uniquement rencontrées dans le site de Pout. Les espèces *Coptotermes sp*, *Cubitermes sp*, *Microtermes grassei* et *Odontotermes aff. parvus* sont rencontrées uniquement dans le site de Ndoienne. Enfin l'espèce *Macrotermes subhyalinus* a été rencontrée uniquement dans le site de Gora Leye. Les espèces champignonnistes et lignivores sont dominant dans les vergers prospectés.

Tableau 6 : Liste des espèces de termites associés aux arbres fruitiers dans différents agro-écosystèmes à base d'arbres fruitiers au niveau de la région de Thiès. Les signes (x) et (-) indiquent respectivement la présence et l'absence de l'espèce dans chacun des sites.

GENRES	NOM DE L'ESPECE	SITES				
		Notto	Gora Leye	Thiès	Ndoienne	Pout
<i>Amitermes</i>	<i>Amitermes evuncifer</i>	x	x	x	x	x
	<i>Amitermes guineensis</i>	-	-	x	-	-
<i>Odontotermes</i>	<i>Ancistrotermes cavithorax</i>	-	-	-	-	x
<i>Coptotermes</i>	<i>Coptotermes intermedius</i>	x	-	x	x	x
	<i>Coptotermes sp</i>	-	-	-	x	-
	<i>Cubitermes sp</i>	-	-	-	x	-
<i>Macrotermes</i>	<i>Macrotermes subhyalinus</i>	-	x	-	-	-
<i>Microceroterme s</i>	<i>Microceroterme aff. parvus</i>	-	-	x	x	x
	<i>Microceroterme aff. solidus</i>	-	-	x	x	x
	<i>Microceroterme sp.</i>	x	-	-	-	x
	<i>Microtermes grassei</i>	-	-	-	x	-

<i>Microtermes</i>	<i>Microtermes hollandei</i>		X	X	X	-
	<i>Microtermes lepidus</i>	X	-	-	-	-
	<i>Microtermes sp.</i>	X	-	X	-	-
	<i>Microtermes subhyalinus</i>	X	-	X	-	X
<i>Odontotermes</i>	<i>Odontotermes aff. nilensis</i>	X	X	-	X	X
	<i>Odontotermes pauperans</i>	-	-	-	-	X
	<i>Odontotermes sp</i>	-	-	X	X	X
	<i>Odontotermes aff. parvus</i>	-	-	-	X	-
	<i>Odontotermes aff. vulgaris</i>	-	-	X	-	X
	<i>Odontotermes vulgaris</i>	-	-	-	-	X
<i>Promirotermes</i>	<i>Promirotermes holmgreni</i>	-	-	-	-	X
<i>Psammotermes</i>	<i>Psammotermes hybostoma</i>	X	-	-	X	-
<i>Richesse spécifique</i>		8	4	10	11	13

5.2.3.2. Relation entre la présence des termites sur les manguiers, leurs dégâts et le dépérissement des manguiers

Les dégâts des termites à la base du tronc et des racines des arbres sont liés à la présence des termites à la base du tronc ($\chi^2 = 286.60$, $df = 3$ et $P < 0.0001$; Figure 28A). En présence de termites, 98 % des manguiers présentent des dégâts (classes 2 à 5) tandis qu'en absence de termites seulement 53 % des manguiers présentent des dégâts. La majorité des dégâts observés sont de classe 2.

L'état de dépérissement des manguiers est étroitement lié à la présence de dégâts des termites à la base du tronc et des racines ($\chi^2 = 206.52$, $df = 4$ et $P < 0.0001$; Figure 28B). Le niveau de dépérissement des manguiers augmente avec le niveau des dégâts. Tandis que 89 % des arbres ne présentant pas de dégâts sont sains et vigoureux, seulement 30 % des arbres présentant des dégâts de classe supérieure ou égal à 3 sont sains et vigoureux. A l'échelle du verger, l'indice d'état de dépérissement des arbres (IE) augmente significativement avec l'indice d'attaques des arbres (IA) ($\rho = 0.60$; $S = 2842.7$, $P < 0.001$).

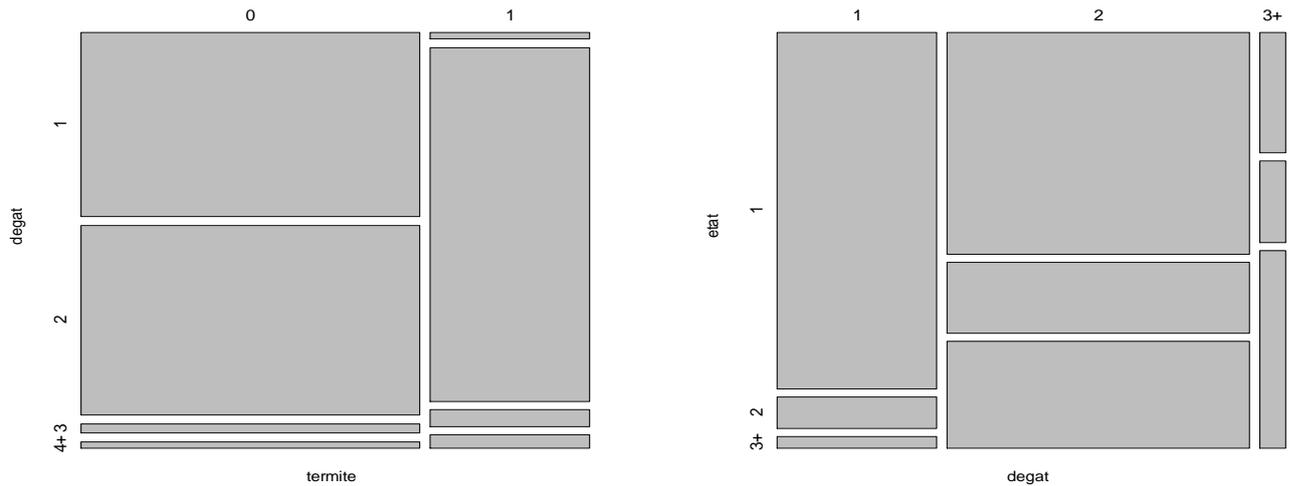


Figure 28 : Relations entre la présence des termites et l'intensité des dégâts des arbres (A) et Intensité des dégâts et le niveau de dépérissement des arbres (B)

4+ : classes de dégâts ou niveau de dépérissement 4 et 5 regroupées ; 3+ : classes de dégâts ou niveau de dépérissement 3, 4 et 5 regroupés.

5.2.3.3. Effets des caractéristiques des vergers sur l'indice d'attaque

La corrélation de Spearman et le test multiple de Kruskal-Wallis montrent clairement que l'indice d'attaque (IA) des arbres.

5.2.3.3.1. Relation IA et le type de verger

L'IA varie significativement en fonction du type de verger ($\chi^2 = 12.03$, $df = 3$ et $P < 0.01$; Figure 29). Il augmente significativement entre les vergers de type 2 et les vergers de type 4. Les vergers de type 4 sont donc moins attaqués que les vergers de type 2.

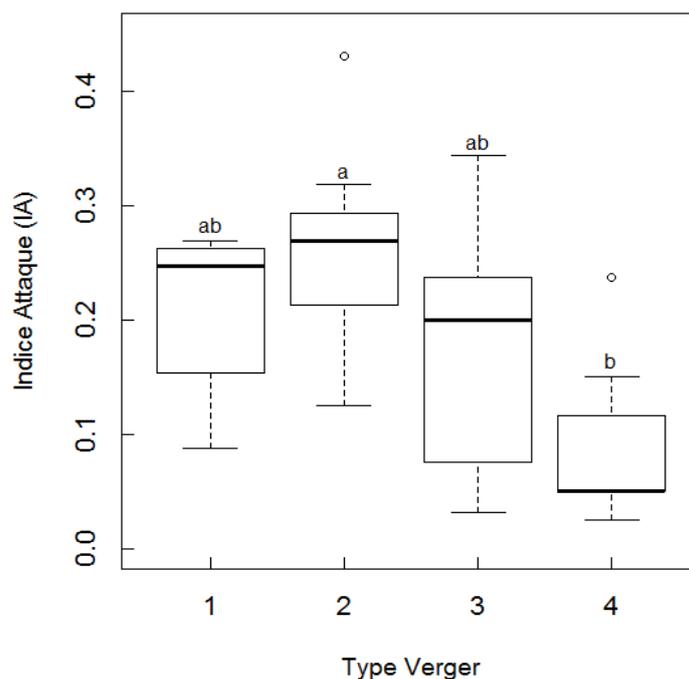


Figure 29 : Variations de l'indice d'attaque (IA) des termites en fonction du type de verger.

Type de verger : (1) "vergers de manguiers diversifiés sans intrants", (2) "vergers de manguiers à faibles intrants", (3) "vergers à *Citrus* prédominants avec un niveau intermédiaire d'intrants" et (4) "grands vergers de manguiers ou de *Citrus* prédominant avec des niveaux intermédiaire d'intrants".

5.2.3.3.2. Relation IA et Pratiques de gestion

L'IA des arbres varient significativement entre les différents niveaux d'irrigation ($\chi^2 = 10.22$, $df = 2$ et $P < 0.01$; Figure 30A). L'IA est significativement plus élevée dans les vergers non irrigués et que dans les vergers suffisamment irriguées (> 200 L / arbre / semaine ; irrigation manuel, goutte-à-goutte ou par micro-aspersion). Les applications de pesticides ont une relation significative avec l'IA des arbres ($\chi^2 = 12.87$, $df = 3$ et $P < 0.01$; Figure 30B). Le test multiple de Kruskal-Wallis montre que l'IA varie significativement entre les vergers non traités et les vergers traités régulièrement (3 à 5 traitements par an). La fertilisation des arbres a également une relation significative avec l'IA ($\chi^2 = 11.44$, $df = 3$ et $P < 0.005$; Figure 30C). Il diminue significativement entre les vergers non fertilisés et les vergers fertilisés modérément avec uniquement de l'azote organique (< 0.5 kg N / arbre / an) mais aussi entre les vergers non fertilisés et les vergers fertilisés modérément avec l'azote organique et minérale (< 0.5 kg N /arbre / an). La taille des arbres a aussi une relation significative avec l'IA ($\chi^2 = 7.34$, $df = 1$ et $P < 0.01$; Figure 30D). L'IA diminue significativement entre les vergers non taillés et les

vergers taillés. En revanche, aucune relation significative n'a été mise en évidence entre l'IA et les autres variables testées relatives à leur mode de conception et aux pratiques de gestion.

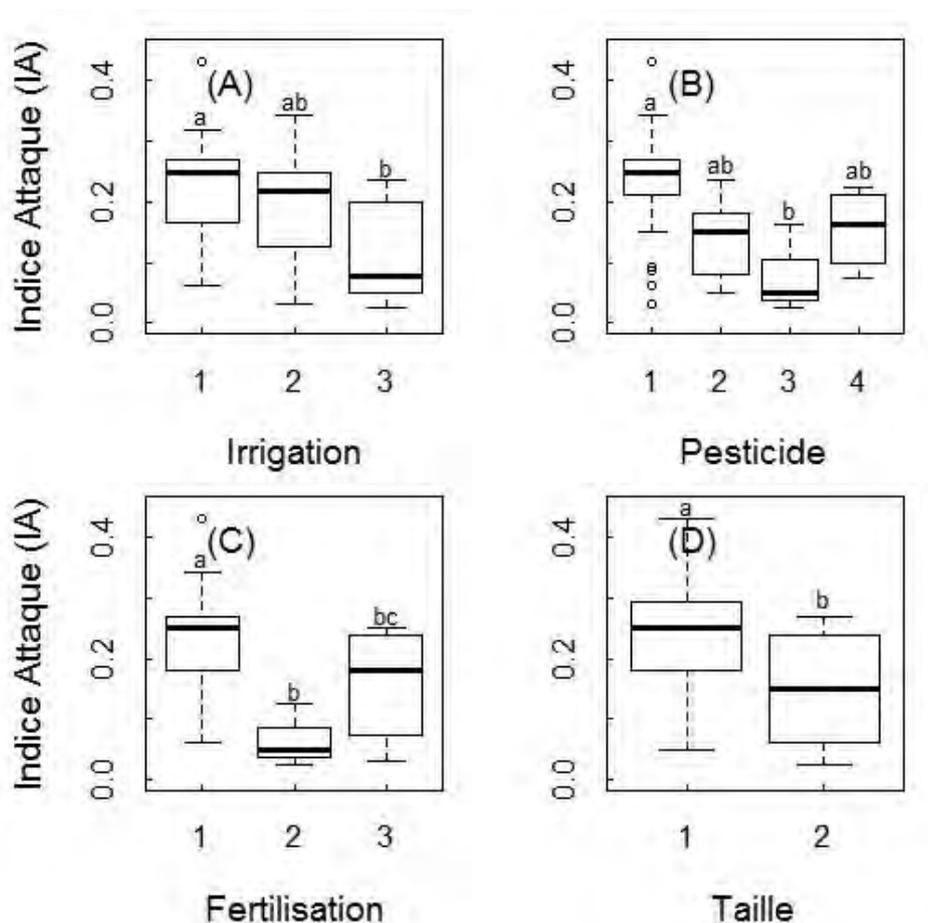


Figure 30 : Variations de l'indice d'attaque (IA) des vergers par les termites en fonction des différents niveaux d'irrigation, de traitement pesticides, de fertilisation et de taille des arbres.

Irrigation: (1) "pas d'irrigation", (2) "irrigation modérée (<200 L / arbre / semaine)" et (3) "irrigation élevée (\geq 200 L / arbre / semaine)"

Pesticide : (1) "pas d'application de pesticide", (2) : "application occasionnelle (1 à 2 fois / an)", (3) "application régulière (3 à 5 fois / an)" et (4) "application fréquente (> 5 fois / an)".

Fertilisation : (1) "pas de fertilisation", (2) : "fertilisation modérée (<0.5 kg N / arbre / par an) avec seulement de l'azote (N) organique " et (3) "fertilisation élevée (\geq 0.5 kg N / arbre /an) avec de l'azote (N) organique et minérale".

Taille : (1) "pas de taille " et (2) : "taille"

5.2.3.3.3. Relation entre l'IA et le sol et localité géographique

L'IA varie significativement en fonction du type de sol ($\chi^2 = 20.15$, $df = 3$ et $P < 0.001$; Figure 31A). Il augmente significativement entre les vergers à sol sableux et les vergers à sable argileux mais aussi entre les vergers à sol sableux et les vergers à argile rouge. L'IA varie en fonction de la localité géographique ($\chi^2 = 20.07$, $df = 4$ et $P < 0.001$; Figure 31B). Il diminue significativement entre les vergers des localités de Gora Leye et de Notto mais aussi entre ceux des localités de Gora Leye et ceux de Ndoyenne. En revanche, il augmente significativement entre les vergers des localités de Notto et de Pout.

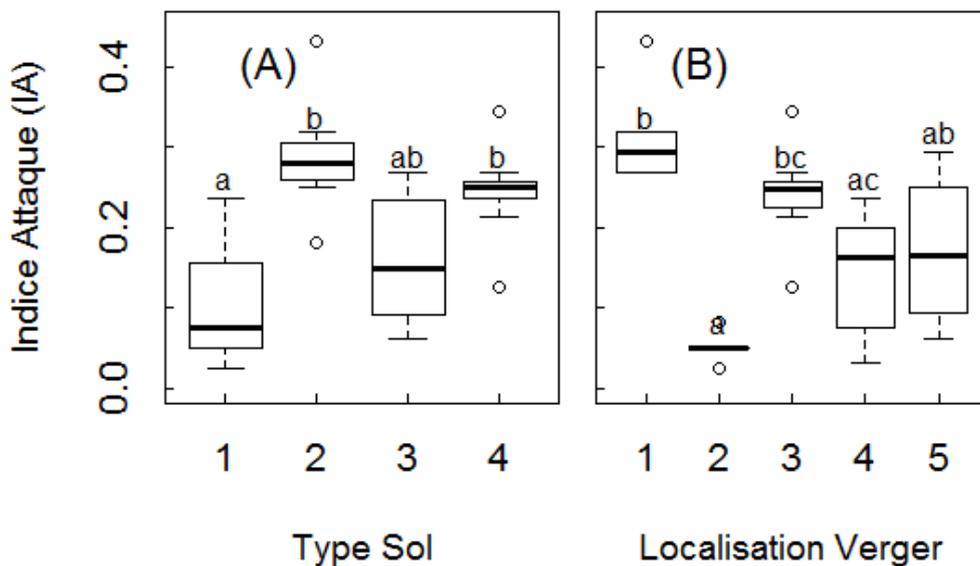


Figure 31 : Variation de l'indice d'attaque (IA) des termites en fonction du type de sol et de la localité géographique.

Type sol : (1) "sable", (2) "sable argileux", (3) "argile noire" et (4) "argile rouge". Localité géographique : (1) Ndoyenne, (2) Gora Leye et (3) Notto, (4) Thiès et Pout.

5.2.3.4. Effets des caractéristiques des vergers sur l'indice d'état (IE)

Le test de corrélation de Spearman et le test multiple de Kruskal-Wallis montrent clairement que la conception des vergers et les pratiques de gestion n'ont aucun effet sur l'IE des arbres.

5.2.3.4.1. Relation entre l'IE et le type de vergers

L'IE varie significativement avec le type de verger ($\chi^2 = 9.40$, $df = 3$ et $P < 0.05$; Figure 32). L'IE diminue significativement entre les vergers de type 2 et 4. Les arbres des vergers de type 4 ont donc un état végétatif meilleur que les arbres des vergers de type 2.

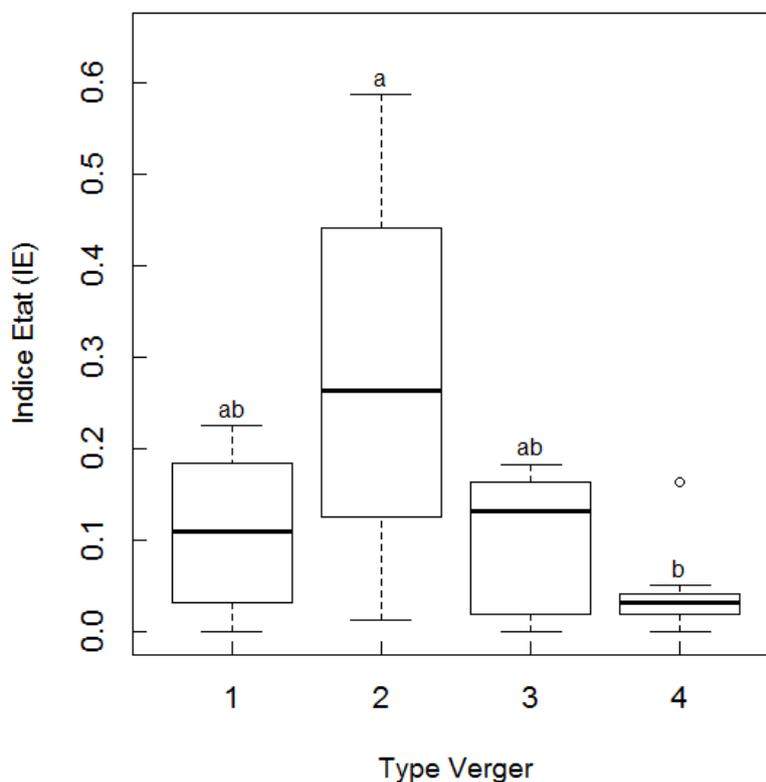


Figure 32 : Variations de l'indice d'état (IA) des arbres en fonction du type de verger.

Type de verger : (1) " vergers de manguiers diversifiés sans intrants", (2) " vergers de manguiers à faibles intrants", (3) " vergers à *Citrus* prédominants avec un niveau intermédiaire d'intrants" et (4) " grands vergers de manguiers ou de *Citrus* prédominant avec des niveaux intermédiaire d'intrants".

5.2.3.4.2. Relation entre l'IE et les pratiques de gestion

Le test de corrélation de Spearman et le test multiple de Kruskal-Wallis montrent clairement que la conception des vergers et les pratiques de gestion n'ont aucun effet sur l'IE des arbres.

5.2.3.4.3. Relation l'IE et le type de sol et la localité géographique

L'IE varie significativement avec le type de sol ($\chi^2 = 9.87$, $df = 3$ et $P < 0.05$; Figure 33A) et la localité géographique ($\chi^2 = 18.44$, $df = 4$ et $P < 0.005$; Figure 33B).

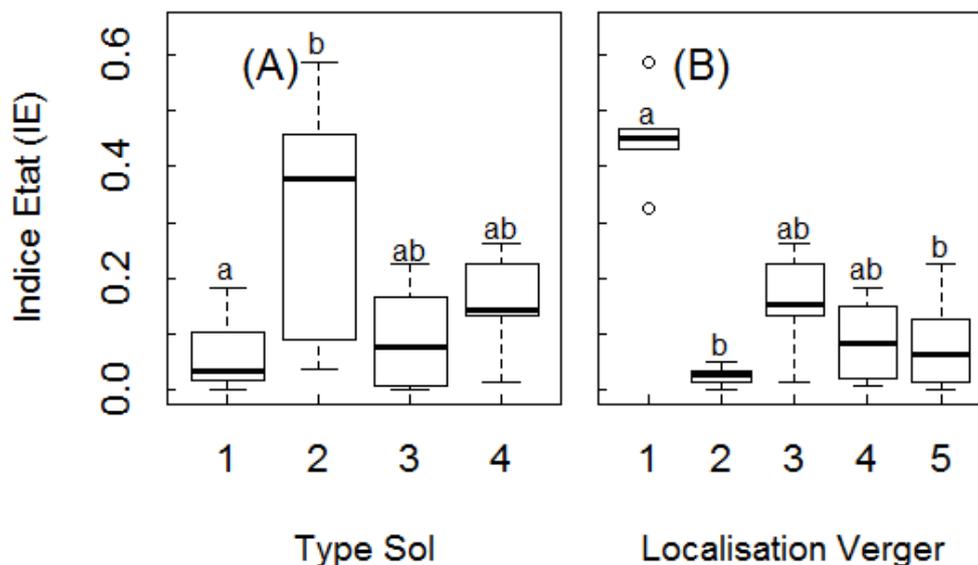


Figure 33 : Variation de l'indice d'état (IA) des arbres en fonction du type de sol et de la localité géographique.

Type sol : (1) "sable", (2) "sable argileux", (3) "argile noire" et (4) "argile rouge". Localité géographique : (1) Ndoyenne, (2) Gora Leye et (3) Notto, (4) Thiès et Pout.

L'IE augmente significativement entre les vergers à sol sableux et ceux à sable argileux. Les vergers à sable argileux ont un état végétatif meilleur que les vergers à sol sableux. L'IE diminue significativement entre les vergers de la localité de Gora Leye et de Notto mais aussi entre ceux de la localité de Gora Leye et de Thiès. Les arbres des vergers des localités de Thiès et de Notto ont donc un meilleur état végétatif que ceux de la localité de Gora Leye.

5.2.4. Discussion

5.2.4.1. Diversité et effets de la présence des termites sur les manguiers et de leurs dégâts sur le dépérissement des manguiers

Notre inventaire nous a permis de recenser 23 espèces de termites associés aux manguiers. Toutes ces espèces ont été rencontrées dans les agrosystèmes à base de manguiers (Ndiaye, 1998 ; Sané et *al.*, 2016). Ce nombre d'espèces avoisine les 17 et 19 espèces rencontrées dans les vergers de manguiers respectivement en Casamance (Ndiaye et Han, 2002) et dans la région de Thiès (Ndiaye et Han, 2000). Dans d'autres agrosystèmes comme les champs de manioc, une faible diversité des termites a été observée (Faye et *al.*, 2014). Cependant cette diversité des termites reste extrêmement faible dans les milieux naturels comme les 80 espèces répertoriées dans la forêt du Mayombe (Congo) et 110 espèces dans la forêt de Mbalmayo au Cameroun (Eggleton et *al.*, 1996 ; Davies et *al.*, 1999).

Le dépérissement des manguiers est dû à la présence des termites et à leurs dégâts à la base du tronc et des racines. Il s'agit là d'une première observation statistique mettant en relation le dépérissement de la partie aérienne du manguiers, la présence des termites sur l'arbre et leurs dégâts à la base du tronc et des racines. Effectivement, beaucoup d'auteurs ont constaté que les dégâts des termites pouvaient tuer un manguiers sans jamais faire le lien entre le dépérissement de l'arbre, la présence des termites et leurs attaques (Han et Ndiaye, 1996 ; Ndiaye, 1998 ; Ndiaye et Han, 2000, 2002 ; Coulibaly et *al.*, 2014). Cependant ce lien a pu être établi sur la canne-à-sucre (Mampouya, 1997), le riz et le maïs (Akpesse et *al.*, 2008), sur le manioc (Faye et *al.*, 2014). Ce résultat est très important dans la mesure où, il permettra de lutter contre le dépérissement des manguiers, en concentrant nos efforts avec certitude sur les termites, principaux ravageurs.

5.2.4.2. Effets des pratiques de gestion des vergers sur les indices d'état, d'attaque et les taux d'attaques des vergers

Ces résultats montrent que l'irrigation, les applications de pesticides et la taille des arbres réduisent significativement les dégâts des termites dans les vergers de manguiers. La fertilisation réduit significativement le taux d'attaque des vergers par les termites.

L'irrigation suffisante des arbres (> 200 L / arbre / semaine) réduit significativement les dégâts des termites dans les vergers de manguiers. Cette observation pourrait s'expliquer par le fait que la présence abondante de l'eau au pied de l'arbre gêne considérablement les déplacements des termites, détruit régulièrement des placages les empêchant d'attaquer les arbres. Ce résultat confirme les remarques faites par Ndiaye (1998) constatant que l'irrigation abondante au pied des arbres ne favoriserait pas l'établissement des termites aux pieds des manguiers. L'utilisation modérée des pesticides dans les vergers réduit significativement les dégâts des termites dans les vergers de manguiers. Cette observation est normale puisque les termites, principaux responsables des dégâts, sont éliminés par les applications de pesticides. L'efficacité du fipronil dans le contrôle des termites dans les champs de canne-à-sucre a été montrée au Sénégal (Mampouya, 1997). La fertilisation organique modérée ou une forte fertilisation réduit significativement les dégâts et les taux d'attaque des termites dans les vergers de manguiers. Cette observation pourrait s'expliquer par le fait que ces fertilisants organiques fournissent la cellulose aux termites, les détournant de l'arbre. Effectivement, les fertilisants organiques sont riches en cellulose comme l'a remarqué Feymann et *al.* (2012). La taille des arbres réduit significativement les dégâts des termites dans les vergers de manguiers. Ce résultat s'explique par le fait que la taille limite les dégâts des termites de *Microcerotermes* au niveau

des branches. La taille des arbres fournit également du bois mort aux termites, pouvant les détourner des arbres vivants.

Ces nouvelles observations dans ces agrosystèmes de manguiers sont extrêmement importantes dans la mise en place de méthodes de gestion efficaces et durables contre les termites. En effet, toutes les pratiques favorisant le bon développement de l'état végétatif de l'arbre réduisent significativement les dégâts des termites dans les vergers de manguiers. L'importance de l'état végétatif des arbres dans la gestion des termites a été soulignée (Rouland-Lefèvre, 2011). Par ailleurs, les résultats ont montré que les dégâts des termites, leur taux d'attaque et l'état végétatif des arbres varient en fonction du type de sol, du type de verger et la localité géographique.

L'IE diminue significativement entre les vergers à sol sableux et les vergers à sable argileux mais aussi entre les vergers à argile noire et les vergers à sable argileux. Il est difficile de trouver une explication à ces observations. Mais dans tous les cas, les propriétés du sol semblent déterminer l'état végétatif des arbres dans les vergers de manguiers. Il serait donc très intéressant d'étudier ces propriétés afin de mieux comprendre les éléments qui favorisent ou non le bon état des arbres dans les agrosystèmes. L'IE augmente significativement entre les vergers de type 1 et 2. Cette faiblesse de l'IE dans les vergers de type 1 par rapport aux vergers de type 2 pourrait s'expliquer par le fait que la végétation est dense et homogène dans les vergers de type 1. Le taux de mortalité élevé dans les vergers de type 2 pourrait également expliquer le mauvais état des arbres se traduisant par un IE plus élevé. L'IE diminue significativement entre les vergers du type 2 et 3 et entre les vergers du type 2 et 4. Ceci s'explique par la fertilisation, l'irrigation et les pesticides appliqués dans les vergers du type 3 et 4 par rapport aux vergers du type 2. L'IE varie en fonction du site d'étude. Cette variation de l'IE en fonction du site dépend du type de sol et des pratiques de gestion du verger.

L'IA augmente significativement entre les vergers à sol sableux et les vergers à sable argileux mais aussi entre les vergers à sable et les vergers à argiles rouges. Les dégâts des termites sont donc plus importants dans les vergers à sable argileux et dans les vergers à argile rouge. Les propriétés du sol jouent également un rôle clé dans les mécanismes d'attaque par les termites. L'étude de l'influence des propriétés du sol permettrait de mieux comprendre les éléments qui favorisent ou non les dégâts des termites dans les agrosystèmes de manguiers. L'IA diminue significativement entre les vergers du type 2 et 4. Cette diminution s'explique par les pratiques de gestion (pesticide, fertilisation, irrigation et taille) administrées dans les

vergers du type 4 par rapport aux vergers du type 2. Cet IA varie également en fonction de la localité géographique. Cette variation dépend des propriétés du site (sol, conception et mode gestion dans le site).

Le taux d'attaque (TA) varie significativement en fonction du type de sol, du type de verger et de la localité géographique. Comme à l'image de l'IE et l'IA, les propriétés du sol, la conception et les pratiques de gestion des vergers mais aussi les propriétés physico-chimiques de la localité géographique sont déterminantes dans les modalités d'attaque des termites au niveau de ces agrosystèmes de manguiers.

5.2.5. Conclusion et Perspectives

Cette étude a permis de montrer que le dépérissement de la partie aérienne du mangouier est dû à la présence des termites à la base du tronc et leurs dégâts au collet des arbres et des racines. La responsabilité des termites dans la mortalité des arbres est une première observation statistique qui a longtemps été constaté par de nombreux auteurs (Han et Ndiaye, 1996 ; Ndiaye et Han, 2000, 2002). La présence des termites à la base du tronc génère donc des dégâts sur le mangouier qui entraînent un dépérissement progressif de l'arbre.

Cette étude a également montré que les pratiques de gestion des termites réduisent significativement les dégâts des termites dans les agrosystèmes de manguiers. Il s'agit d'une première observation dont l'application pratique peut être très importante et innovatrice dans un contexte de gestion durable des termites. Même si les relations de cause à effet ne sont peut-être pas évidentes, l'irrigation suffisante des arbres, la fertilisation organique modérée, les applications de pesticides et la taille des arbres sont les pratiques de gestion des vergers réduisent significativement les dégâts des termites tout en favorisant le bon état végétatif des arbres dans les agrosystèmes de manguiers. La fertilisation, l'irrigation et la taille des arbres doivent être promus dans les vergers afin de lutter efficacement et durablement contre les espèces de termites associées aux manguiers.

Enfin l'étude montre l'influence des propriétés du sol, du type de verger et des propriétés physico-chimiques de la localité géographique dans les mécanismes d'attaque par les termites. Si les variations des attaques selon le type de verger sont faciles à expliquer, elles sont en revanche plus difficiles à expliquer en fonction du type de sol et de la localité géographique. Les études complémentaires visant à connaître les propriétés physico-chimiques du sol mais aussi température doivent être menées afin de mieux comprendre les mécanismes d'attaque des termites.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Cette étude s'est focalisée sur les relations entre le fonctionnement des agro-écosystèmes à de manguiers et les dégâts des termites. Au Sénégal, le dépérissement la partie aérienne des manguiers, souvent attribué aux termites, est de plus en plus signalé par les producteurs comme un problème récurrent. Pourtant, la connaissance des interrelations du système « Agrosystèmes-Termites » est indispensable à la gestion efficace et durable des termites dans ces agrosystèmes. Notre approche a été la prise en compte des éléments fonctionnels du système dans la recherche des relations entre les différents éléments du système.

Une synthèse bibliographique de la liste des espèces de termites recensées et des principaux résultats obtenus depuis près de 50 années de recherches nous ont permis de montrer que :

Au total, 90 espèces de termites appartenant à 3 familles et 4 groupes trophiques, ont été retrouvées sur l'ensemble des localités géographiques prospectées. La diversité des termites au Sénégal est relativement importante. Cependant, les possibilités que cette diversité soit sous-évaluée existent pour trois raisons. Premièrement, les difficultés liées à l'identification de certaines espèces appartenant à la sous-famille des Apicotermatinae ont été soulignées (Fall et *al.*, 2000 ; Sarr et *al.*, 2005). Deuxièmement, la faible ou la non prospection des espèces termites dans certaines localités géographiques du Sénégal pourrait également contribuer à la sous-évaluation de cette diversité des termites. Enfin la diversification des méthodes d'inventaire pourrait permettre de répertorier de nouvelles espèces de termites.

Aussi, 54 espèces de termites ont été recensées dans les vergers. Parmi ces espèces inventoriées, 45 sont ravageuses d'arbres fruitiers. La prédominance des termites champignonnistes et lignivores dans les vergers a également été confirmée. L'espèce *Amitermes evuncifer* a été décrite comme étant la plus dévastatrice (Ndiaye, 2000). Les nuisances des termites ont également été observées sur plusieurs essences botaniques. Cependant, les méthodes de lutte utilisées contre ces espèces de termites sont diverses et variées. Les producteurs utilisent les méthodes traditionnelles, biologiques et chimiques pour lutter contre les termites au niveau des agrosystèmes. Les méthodes traditionnelles utilisées par les producteurs Sénégalais sont très différentes de celles utilisées par les producteurs Ghanéens (Akutse et *al.* 2012). Cependant les méthodes chimiques sont de loin les plus efficaces. La mise en place de méthodes alternatives à l'utilisation des pesticides contre les termites occupe de plus en plus le monde de la recherche. Pourtant la connaissance des relations entre les

caractéristiques des vergers, la biodiversité des termites et les dégâts des termites constitue un préalable à la mise en place de méthodes de gestion agro-écologiques des termites.

La connaissance des caractéristiques des vergers et de la biodiversité des termites permettra d'identifier les différents facteurs qui influencent la biodiversité des termites. L'identification de ces facteurs qui influencent la biodiversité des termites offrirait de nouvelles méthodes de gestion des termites dans les vergers. De même, la connaissance de la biologie et de la diversité des fourmis dans ces mêmes vergers offrirait des alternatives très intéressantes à la gestion durable des termites. En effet, une biodiversité relativement importante des fourmis a été recensée dans les mêmes agrosystèmes de manguiers par Diamé et *al.* (2015). Les recherches visant à promouvoir la lutte biologique par les fourmis prédatrices doivent être envisagées afin de diversifier les méthodes agro-écologiques de gestion des termites. Certaines espèces de fourmis sont des prédateurs potentiels des termites et leur existence a été confirmée par les travaux de Yusuf et *al.* (2013).

La caractérisation du fonctionnement des agrosystèmes à base d'arbres fruitiers nous a permis de définir une typologie des vergers. Ces agrosystèmes ont été regroupés en 4 systèmes de culture dont chacun est associé à une ou plusieurs pratiques de gestion. Cette caractérisation des agrosystèmes de manguiers fut une étape extrêmement importante dans la compréhension de leurs relations avec la biodiversité des termites, leurs dégâts ainsi que l'état végétatif des arbres. La connaissance des caractéristiques des vergers sera déterminante dans la mise en place de méthodes agro-écologiques de gestion des termites.

L'étude de la biodiversité et de la composition des communautés de termites associées aux manguiers dans les vergers sénégalais et les relations avec les caractéristiques des vergers nous a permis de montrer que :

Certains types de sols sont plus ou moins favorables à l'abondance des termites. Ainsi, cette abondance des termites est plus importante dans les sols à argile rouge que dans les sols sableux. Le type de sol est donc un bon indicateur du risque potentiel d'abondance et de dégâts des termites dans les vergers à base de manguiers.

La diversité et la richesse spécifique des termites sont positivement corrélées à la vigueur des arbres et diminuent avec les applications de pesticides et les apports de fertilisants. Ces résultats, en particulier l'effet de la vigueur des arbres et des apports de fertilisants, constituent de nouvelles observations au niveau des vergers à base de manguiers. Ces résultats peuvent conduire à des applications nouvelles dans la gestion de ces vergers afin de limiter les

dégâts dus aux termites. Selon Sarr (1999) l'état d'équilibre des populations joue un rôle important sur les mécanismes d'attaques par les termites. Il a montré que la diversité des niches écologiques dans les milieux peu perturbés réduirait l'effet ravageur des termites. Selon ces résultats, qui sont en accord avec le postulat que les milieux plus diversifiés sont plus stables que les milieux perturbés (Eggleton et *al.*, 2002), une stratégie de gestion des termites pourrait passer par la promotion de leur biodiversité dans les agrosystèmes par la préconisation de pratiques de gestion adaptées. Rouland-Lefèvre (2011) a déjà souligné l'importance des pratiques visant à améliorer l'état végétatif des arbres dans la gestion des termites.

Malgré tout, nous pensons que des études complémentaires visant à montrer plus clairement les relations entre la biodiversité des termites et leurs dégâts dans les agrosystèmes sont nécessaires. Autrement dit, il faudrait chercher à savoir dans quelles circonstances les termites deviennent des ravageurs au point d'entraîner le dépérissement des manguiers et dans quelle mesure une augmentation de la biodiversité des termites permettrait de réduire les ravages des termites dans les agrosystèmes. Mais dans tous les cas, nous pensons que la mesure de certaines variables ayant des effets marginaux sur la biodiversité des termites dans les agrosystèmes, telles que l'irrigation, le travail du sol, la litière, doit être affinée afin de mieux préciser leurs effets sur la biodiversité et l'abondance des termites dans les vergers de manguiers.

L'étude des effets des dégâts des termites sur le dépérissement des manguiers et de l'influence de la conception et des pratiques de gestion des vergers sur les l'état végétatif des arbres et les dégâts des termites nous a permis de montrer que :

Le dépérissement de la partie aérienne des manguiers pourrait être lié à la présence des termites à la base du tronc et des racines et à leurs dégâts au collet des arbres et des racines. Cette première observation statistique dans ces agrosystèmes confirme les nombreux constats de certains auteurs (Ndiaye et Han, 2000).

Les pratiques de gestion des vergers telles que la fertilisation organique, l'irrigation suffisante des arbres, la taille des arbres et les applications de pesticides réduisent significativement les dégâts des termites dans les agrosystèmes de manguiers. Ces résultats, constituant des observations nouvelles dans les agrosystèmes de manguiers, ont une importance pratique extrêmement importante dans la gestion des termites. Han et Ndiaye (1996) avaient souligné que l'irrigation abondante au pied des arbres y empêchait ou diminuait les dégâts des termites. Ces résultats vont, à coup sûr révolutionner la gestion durable des termites dans les

agrosystèmes. La taille des arbres, l'irrigation suffisante et la fertilisation organique constituent de nouvelles méthodes de gestions des termites dans les vergers dont disposent les producteurs. Par ailleurs, la fertilisation organique réduit significativement les taux des arbres par les termites. L'irrigation et les pesticides ont un effet marginal sur les taux d'attaque.

Le type de sol, le type de verger et la localité géographique influencent les dégâts des termites et l'état des arbres dans les vergers. Les propriétés physico-chimiques et les types de sol modifient significativement l'état végétatif des arbres et les dégâts des termites dans les agrosystèmes de manguiers. Ces états des arbres et les dégâts des termites varient significativement selon la localité géographique. Sarr *et al.* (2005) ont montré que la distribution des termites est tributaire des conditions climatiques et édaphiques. Les variations de l'état végétatif et les dégâts des termites en fonction du sol, du type de vergers et de la localité géographique constituent de nouvelles observations. Ces résultats pourraient aider à expliquer ou de prévoir l'état végétatif des arbres ou les dégâts des termites dans certaines localités données. Des études complémentaires visant à connaître les propriétés physiques du sol, sa température mais aussi la pluviométrie de toutes les localités étudiées doivent être menées pour mieux comprendre et expliquer les ravages des termites.

En terme de résilience, les résultats montrent les milieux les plus stables sont les plus diversifiés. Les vergers les plus diversifiés vont correspondre aux vergers peu ou pas entretenus. Ces vergers renferment beaucoup de litière qui constituent une source abondante de matière organique pour les termites. Par ailleurs, toutes les pratiques qui réduisent la biodiversité des termites telles que la fertilisation et les application de pesticides ne sont pas utilisées dans ces vergers. Par exemple, ces vergers sont peu ou pas traités ou fertilisés, ce qui contribue à leur diversification en espèces telles que les termites.

En terme de dégât, les résultats montrent que les milieux les vergers de monovariétaux de manguiers semi-intensifs sont les moins attaqués que les vergers de manguiers faiblement entretenus. Ces vergers monovariétaux vont correspondre à des vergers traités, irrigués et fertilisés. La faiblesse des attaques de termites serait liée à certaines pratiques de gestion des vergers telles que l'irrigation, la fertilisation et la taille d'entretien des arbres qui réduisent significativement les dégâts causés par les termites sur les manguiers.

L'importance des attaques de termites dans les vergers de manguiers faiblement entretenus serait liée à la disponibilité de la litière, l'absence de taille et les faibles apports de fertilisants et d'eau.

En définitive, nous retenons de cette étude que la gestion des termites dans les agro-écosystèmes de manguiers pourrait passer par la promotion de pratiques de gestion qui limitent les dégâts causés par les termites dans les vergers de manguiers. Ces pratiques sont entre autres la fertilisation organique d'origine organique ou minérale (< 0.5 ou > 0.5 kg par arbre et par an), l'irrigation (200 l par arbre et par semaine) et la taille d'entretien.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références

- Ackerman IL, Constantino R, Gauch Jr HG, Lehmann J, Riha SJ, Fernandes ECM. 2009. Termite (Insecta: Isoptera) Species Composition in a Primary Rain Forest and Agroforests in Central Amazonia. *Biotropica*, **41** (2): 226-233.
- Agbogba C. 1985. L'attaque des arbres par les termites dans le parc forestier de Dakar Hann (Sénégal). *Actes Collections Insectes Sociaux*, **2**: 323-326.
- Agbogba C, Roy-Noël J. 1982. L'attaque des termites dans la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal). III. Cas du parc forestiers de Dakar-Hann sur le sable ogolien. *Bulletin de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire*, **44**(3-4): 341-364.
- Agbogba C, Roy-Noël J. 1986. L'attaque des arbres par les termites dans la presqu'île du Cap-Vert, cas du parc forestier de Hann. *Bulletin de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire*, **44**(3-4): 341-364.
- Akpesse AA, Kouassi P, Tano Y, Lepage M. 2008. Impact des termites dans les champs paysans de riz et de maïs en savane sud-soudanienne (Booro-Borotou, Côte d'Ivoire). *Sciences & Nature*, **5**(2): 121-131.
- Akpesse AA, 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**(2): 67-80.
- Akpesse AA, Kouassi P, Yapi A, Lepage M, Tano Y, Tahiri A. 2004. Impact des traitements insecticides sur les population de termites sur la production de riz et de maïs en savane subsoudanienne (Booro-Borotou, Côte d'Ivoire): cas du chlorpyrifos-ethyl et du Fipronyl. *Bioterre*, **4**: 15-35.
- Akutse KS, Owusu EO, Afreh-Nuamah K. 2012. Perception of farmer's management strategies for termites control in Ghana. *Journal of Applied Biosciences*, **49**: 3394-3405.
- Altieri MA. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **74**: 19-31.
- Aluja M, Birke A. 1993. Habitat use by adults of *Anastrepha obliqua* (Diptera: tephritidae) in a mixed mango and tropical plum orchard. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, **86**: 799-812.

- Anani Kotoklo, E, Kassaney DB, Nyamador W, Ketoh KG, Glitho IA. 2010. Attaques des arbres par les termites sur le campus de l'Université de Lomé (Togo). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **5**: 755-765.
- 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. *Ann. Univ. Lomé*, **7**: 79-95.
- Andow DA. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology*, **36**: 561-689.
- Arbonnier M. 2002. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest (2nd édition). *Quae, France*.
- Asawalam OD, Johnson, 2007. Physical and chemical characteristics of soils modified by earthworms and termites. *Communication in soil science and plant analysis*, **38**: (3-4): 513-521.
- Aubertot JN, Barbier JM, Carpentier A, Gril JJ, Guichard L, Lucas P, Savary S, Savini I, Voltz M. 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux (eds). Expertise scientifique collective INRA – Cemagref, France.
- Ayuke FO, Pulleman MM, Vanlauwe B, De Goede RGM, Six J, Csuzdi C, Brussaard L. 2011. Agricultural management affects earthworm and termite diversity across humid to semi-arid tropical zones. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **140** (1-2): 148-154.
- Bachelier G. 1977. Mise au point sur l'action des termites dans les sols. *Sciences du Sol-Bulletin de l'AFES*, **1**: 3-12.
- Baudry J, Bunce RGH, Burel F. 2000. Hedgerows: an international perspective on their origin, function and management. *J. Environ. Manag.*, **60**: 7-22.
- Berhaut J. 1967. Flore du Sénégal, 2^e édition claire afrique, Dakar, 485p.
- Birang M, Csuzdi C, Hauser S, Zebaze I, Didden WA, Brussaard L. 2003. Earthworm Community Structure along a Gradient of Land use Intensification in the Humid Forest Zone of Southern Cameroun. *Wageningen Univ*, **47**: 819-824.

- Black HIJ, Okwako MJN. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of termites. *Applied Soil Ecology*, **6**: 37-53.
- Blazy JM, Ozier-Lafontaine H, Dore T, Thomas A, Wery J. 2009. A methodological framework that accounts for farm diversity in the prototyping of crop management systems. Application to banana-based systems in Guadeloupe. *Agric. Syst.*, **101**: 30-41.
- Bouzillé JB. 2007. Gestion des habitats naturels et biodiversité. Concepts, méthodes et démarches, TEC & DOC Lavoisier, Paris, France, 2007.
- Brussaard L, De Ruiter PC, Brown GG. 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture Ecosystems and Environment*, **121**: 233-244.
- Cancello EM, Silva RR, Vasconcellos A, Reis YT, Oliveira LM. 2014. Latitudinal variation in termites species richness and abundance along the Brazilian Atlantic Forest Hotspot. *Biotropica*, **46** (4): 441-451.
- Caterino MS, Cho S, Sperling FA. 2000. The current state of insect molecular systematics: a thriving Tower of Babel. *Annu. Rev. Entomol.*, **45**: 1-54.
- Cerf M. 1996. Approche cognitive de pratiques agricoles: intérêts et limites pour les agronomes. *Natures, Sciences, Sociétés*, **4**: 327-339.
- Coulibaly T, Akpessè AAM, Yapi A, Zihiri GL, 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 Science*, **22**(3): 3455-3468.
- Coulibaly T, Boga JP, Yapi A, Kouassi KP. 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.
- Crolaud TBS, Konaté S, Tano Y. 2010. Diversité et abondance des termites (Insecta : Isoptera) dans les gradients d'âge de paillis de cabosses (Oumé-Côte d'Ivoire). *Journal of animal & Plant Sciences*, **6** (3): 685-699.
- Crolaud TBS, Boga JP, Akpessè, AAM, Konaté S, Kouassi P, Tano Y. 2012. Diversité et effet de la litière sur l'assemblage des termites (Insecta: Isoptera) épigés le long d'un gradient d'âge de la cacaoculture (*Theobroma Cacao* L.) en Moyenne Côte d'Ivoire, Oumé. *European Journal of Scientific Research*, **79**: 519-530.

- Darlington JPEC. 1997. Comparison of nest structure and caste parameters of sympatric species of *Odontotermes* (Termitidae, Macrotermitinae) in Kenya. *Insectes sociaux*, **55**: 256-265.
- Davies RG, Eggleton P, Digog L, Lawton JH, Bignell DE, Brauman A, Hartmann C, Nunes L, Holt J, Rouland C. 1999. Successional response of a tropical termite assemblage to experimental habitat perturbation. *Journal of Applied Ecology*, **36**(6): 946-962.
- Dawes TZ. 2010. Impacts of habitat disturbance on termites and soil water storage in a tropical Australian savanna. *Pedobiologia*, **53**(4): 241-246.
- Dawes TZ. 2010. Reestablishment of ecological functioning by mulching and termites invasion in a degraded soil in an Australian savanna. *Soil Biology and Biochemistry*, **42** (10), 1825-1834.
- Debras JF, Senoussi R, Rieux R, Buisson E, Dutoit T. 2008. Spatial distribution of an arthropod community in a pear orchard (southern France): identification of a hedge effect. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **127**: 166-176.
- Decaëns T, Galvis JH, Amézquita E. 2001. Propriétés des structures produites par les ingénieurs écologiques à la surface du sol d'une savane colombienne. *Compte Rendus de l'Académie des Sciences-Series III-Sciences de la Vie*, **324**: 465-478.
- Deheuvels O, Avelino J, Somarriba E, Malezieux E. 2012. Vegetation structure and productivity in cocoa-based agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **149**: 181-188.
- Deprince A. 2003. La faune du sol : diversité, méthodes d'étude, fonctions et perspectives. *Le courrier de l'Environnement de l'INRA*, **49**: 19-42.
- Diame L, Blatrix R, Grechi I, Rey JY, Sane CAB, Vayssières JF, De Bon H, Diarra K. 2015. Ant biodiversity and community composition in Senegalese orchards and relation with orchard design and management practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **212**: 94-105.
- Diop A, Ndiaye AB, Ba CT. 2013. Décomposition de la bouse de bovin sèche et macrofaune associée en zone sahélienne semi-aride (Matam, Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **7**(1): 147-162.

- Doré T, Makowski D, Malézieux E, Munier-Jolain N, Tchamitchian M, TITTONELL P. 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. *European journal of agronomy*, **34** (4): 197-210.
- DUBOISSET A, SEIGNOBOS C. 2005. Petite histoire des connaissances acquises sur les termites et leur rôle agro-écologique. *Etude et Gestion des Sols*, **12** (2):153-164.
- EGGLETON P, BIGNELL DE, SANDS WA, MAWDSLEY NA, LAWTON JH, WOOD TG, BIGNELL NC. 1996. The Diversity, Abundance and Biomass of Termites under Differing Levels of Disturbance in the Mbalmayo Forest Reserve, Southern Cameroon. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, **351**:51-68.
- EGGLETON PP, BIGNELL DE, 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.
- EGGLETON P, DAVIES R, CONNETABLE S, BIGNELL D, ROULAND C. 2002. The termites of the Mayombe forest reserve, Congo (Brazzaville): transect sampling reveals an extremely high diversity of ground-nesting soil feeders. *Journal of Natural History*, **36**(10): 1239-1246.
- FALL S, SARR M, AGBOGBA C, ROULAND C, BRAUMAN A. 2000. Effet de l'âge de la jachère et de la saison sur la densité et la diversité des termites. In: La jachère en Afrique tropicale Floet Ch, et Pontanier R. (eds). *John Libbey Eurotext, Paris*, 259-267.
- FAOSTAT, 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations (Accessed 08 Oct 2012 at: <http://faostat.fao.org/>).
- FAYE A, MBOYE DF, KANE PD, SALL SY D, SANE D, 2014. Study of the cassava varietal sensibility to termites ravaging cuttings planted in farms in the department of Tivaouane (Senegal). *International Journal of Science and Advanced Technology*, **4**: 6-16.
- FOUQUET D. 2004. Les termites en France métropolitaine : Biologie et moyens de lutte. *Bois et forêts des tropiques*, **279** (1): 91-96.
- FRAGOSO C, LAVELLE P. 1995. Are earthworms important in the decomposition of tropical litter? In *Soil Organisms and Litter Decomposition in the Tropics*, Reddy MV (Ed). Oxford & IBH Publishing: *Calcuta, New Delhi.*, 103-112.
- GBENYEDJI JNBK, ANANI KE, AMEVOIN K, GLITHO IA. 2011. Diversité spécifique des termites dans deux plantations de tecks (*Tectona grandis* L.) au sud du Togo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **5**: 755-765.

- Gerbaud P. 2011. Bilan de champagne 2010 par origine. *FruiTrop*, **186**: 27-39.
- Grechi I, Sané CAB, Diamé L, De Bon H, Benneveau A, Michels T, Huguinen V, Malezieux E, Diarra K, Rey JY. 2013. Mango-based orchards in Senegal: diversity of design and pest management patterns. *Fruits*, **68** (6): 447-466.
- Guedegbe H, Houngnandan P, Roman J, Rouland-Lefevre C. 2008. Patterns of substrate degradation by some microfungi from fungus-growing termites combs (Isoptera: Termitidae: Macrotermitinae). *Sociobiology*, **52** (3): 51-65.
- 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.
- Gueye N. 1988. Rôle des termites dans des plantations forestières du Cap-Vert (Mbao, Sénégal). Thèse de Doctorat de l'Université Paris 6, 159p.
- Gueye N, Lepage M. 1988. Rôle des termites dans de jeunes plantations d'eucalyptus du cap-vert (Sénégal). *Actes coll. Insectes sociaux*, **38** (3) 87-830.
- Han SH, Ndiaye AB. 1996. Dégâts causés par les termites (Isoptera) sur les arbres fruitiers dans la région de Dakar (Sénégal). *Actes Collections Insectes sociaux*, **10**: 111-117.
- Han SH, Ndiaye AB. 1998. L'attaque des cultures maraîchères par les termites (Isoptera) dans la région de Dakar (Sénégal). *Actes Collections Insectes sociaux*, **11**: 37-43.
- Han SH, Tokro GP, Tano Y, Lepage M. 1998. Dégâts des termites dans les plantations de palmiers à huile en Côte d'Ivoire : évaluation et méthode de lutte. *Plantations, Recherches, Développement*, **5**(2): 119-126.
- Harris WV. 1969. Termites as pests of crops and trees. *Commonwealth institute of entomology*, **56**: 38p.
- Hien E. 2004. Dynamique du carbone dans un Acrisol ferrique du Centre Ouest Burkina : Influence des pratiques culturales sur le stock et la qualité de la matière organique. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, 140p.
- Husson F, Lê S, Pagès J. 2011. Exploratory Multivariate Analysis by Example Using R, Chapman & Hall/CRC, London, UK.
- Iroko FA. 1996. L'homme et les termitières en Afrique. *Edition Karthala* 22-24, boulevard Arago 75013, Paris. 298p.

- James LS, Michael KR. 1994. Temperature preferences of the western subterranean termite, *Reticulitermes hesperus* Banks. *Journal of Arid Environments*, **28** (4): 313-323.
- Jannoyer M, Malézieux E, Ozier LH. 2011. Are agro-ecological cropping systems suitable for tropical horticultural crops? In: Benkeblia N. (ed.). *Proceedings of the First International symposium on tropical horticulture, Kingston, Jamaica, November 22-26, 2010*. Louvain: ISHS [Belgique], 133-140.
- Jones DT, Eggleton P. 2000. Sampling termite assemblages in tropic forests: testing a rapid biodiversity assessment protocol. *Journal of Applied Ecology*, **37**: 191-203.
- Jones DT, Eggleton P. 2011. Global biogeography of termites: A compilation of sources. In Bignell, D.-E., Roisin, Y., Lo, N., *Biology of termites: A modern synthesis*. Dordrecht, The Netherlands. *Springer*, 477-498.
- Jouquet, P., Blanchart, E., Capowiez, Y., 2014. Utilization of earthworms and termites for the restoration of ecosystems. *Applied Soil Ecology*, **73**: 34-40.
- Jouquet P, Boulain N, Gignoux J, Lepage, M. 2004. Association between subterranean termites and grasses in a West African savanna: spatial pattern analysis shows a significant role for *Odontotermes n. pauperans*. *Applied soil Ecology*, **27** (2): 99-107.
- Jouquet P, Dauber J, Lagerlof J, Lavelle P, Lepage M. 2006. Soil invertebrates as ecosystem engineers: intended and accidental effects on soil and feedback loops. *Soil Ecol.*, **32**: 153-164.
- Jouquet P, Ranjard L, Lepage M, Lata JC. 2005. Incidence of fungus-growing termites (Isoptera, Macrotermitinae) on the structure of soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, **37** (10): 1852-1859.
- Jouquet P, Traoré S, Choosai C, Hartmann C, Bignell D. 2011. Influence of termites on ecosystem functioning. Ecosystem services provided by termites. *European Journal of Soil Biology*, **47** (4): 215-222.
- Kambhampati S, Eggleton P. 2000. Taxonomy and phylogeny of termites. In: *Biology of termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. Abee T, Bignell DE & HM. *Academic press*, 488.
- Kaul V, Shankar U, Khushu MK. 2009. Bio-intensive integrated pest management in fruit crop ecosystem, in: Peshin R, Dhawan AK. (Eds.), *Integrated pest management: innovation-development process*. *Springer, Netherlands*.

- Kenne M, Djieto-Lordon C, Orivel J, Fabre A, Dejean A. 2003. Influence of insecticide treatments on ant-hemiptera association in Tropical Plantations. *Journal of Economic Entomology*, **96** (2): 251-258.
- Knops JMH, Tilman D, Haddad NM, Naeem S, Mitchell CE, Haarstad J, Ritchie ME, Howe KM, Peich PB, Siemann E, Groth J. 1999. Effects of plants species richness on invasion dynamics, disease outbreaks, insect abundances and diversity. *Ecology letters*, **2**: 286-293.
- Korb J, Linsenmair KE. 2000. Thermoregulation of termite mounds: what role does ambient temperature and metabolism of the colony play? *Insectes Sociaux.*, **47** (4): 357-363.
- Krishna K. 1970. Taxonomy, phylogeny and distribution of termites. In: Biology of termites. Krishna K & FWM EDS., Academic Press, 127-152.
- Kruess, A., Tscharntke, T., 1994. Habitat fragmentation, species loss and biological control. *Sciences*, **264**: 1581-1584.
- Lavelle P., Bignelle D., Lepage M. 1997. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology*, **33** (4): 159-193.
- Lavelle, P., Decaens, M., Aubert, M., Barot, S., Bloiun, M., Bureau, F., Magerie, P., Mora, P., Rossi, J.P., 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, **42**: 3-15.
- Le Bellec F, Cattan P, Bonin M, Rajaud A. 2011. Building a typology of cropping practices from comparison with a technical reference: first step for a relevant cropping system redesigning process – results for tropical citrus production. *Fruits*, **66**: 143-159.
- Lê S, Josse J, Husson F 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *J. Stat. Softw.*, **25**: 1-18.
- Lepage M. 1974. Les termites d'une savane sahélienne (Ferlo septentrional, Sénégal) : Peuplements, populations, consommation, rôle dans l'écosystème. Thèse d'Etat, Université de Dijon, 344p.
- Longcore T. 2003. Terrestrial Arthropods as Indicators of Ecological Restoration Success in Coastal Sage Scrub (California, U.S.A.). *Restor. Ecol.*, **11**: 397-400.
- Malézieux E, Crozat Y, Dupraz C, Laurans M, Makowski D, Ozier Lafontaine H, Rapidel B, De Tourdonnet S, Valantin-Morison M. 2009. Mixing plant species in cropping

- systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for sustainable development*, **29** (1): 43-62.
- Maliha SN, John PA, Walter GW. 1999. Spatial and temporal variability in relative abundance and foraging behavior of subterranean termites in desertified and relatively intact Chihuahuan Desert ecosystems. *Applied soil Ecology*, **12** (2): 149-157.
- Mampouya D. 1997. Les populations de termites dans une culture de canne-à-sucre irriguée dans un écosystème sahélien : le fipronil dans une lutte ciblée contre les termites. *Thèse de doctorat, Université de Paris XII Val de Marne (France)*, 183p.
- Mando A, Miedema R. 1997. Termite-induced change in soil structure after mulching degraded (crusted) soil in the Sahel. *Applied Soil Ecology*, **6**(3): 241-249.
- Mando A. 1997. The impact of termites and mulch on the water balance of crusted Sahelian soil. *Soil Technology*, **11**(2): 121-138.
- Mando A, Stroosnijder L, Brussaer L. 1996. Effects of termites on infiltration into crusted soil. *Geoderma*, **74**(1-2), 107-113.
- Midega CAO, Khan ZR, Van den Berg J, Ogol CKPO, Dippenaar-Schoeman AS, Pickett JA, Wadhams LJ. 2008. Response of ground-dwelling arthropods to a 'push-pull' habitat management system: spiders as an indicator group. *J. Appl. Entomol.*, **132**: 248-254.
- Mooney H, Lubchenco J, Dirzo R, Sala O. 1995a. Biodiversity and ecosystem functioning: Basic principles. In Heywood, V., ed., *Global Biodiversity Assessment*, Cambridge, UK: *Cambridge University Press*, 279-323.
- Mooney H, Lubchenco J, Dirzo R, Sala OE. 1995b. Biodiversity and ecosystem functioning: Ecosystems analyses. In Heywood, V., ed., *Global Biodiversity Assessment*, Cambridge, UK: *Cambridge University Press*, 347-452.
- Mora P, Miambi E, Jimenez JJ, Decaens T, Rouland-Lefèvre C, 2005. Functional complement of biogenic structures produced by earthworms, termites and ants in the neotropical savannas. *Soils Biology & Biochemistry*, **37**: 1043-1048.
- Mora P, Rouland C, Renoux J. 1996. Foraging, nesting and damage caused by *Macrotermes subhyalinus* (Isoptera: Termitidae) in sugarcane plantations in the Central African Republic. *Bulletin of Entomological Research*, **86**: 387-395.

- Mora P, Seuge C, Rossi JP, Rouland C. 2006. Abundance of biogenic structures of earthworms and termites in a mango orchard. *European Journal of soil biology*, **42**: 250-253.
- Mwatawala MW, De Meyer M, Makundi RH, Maerere AP. 2008. Design of an ecologically-based IPM program for fruit flies (Diptera: Tephritidae). *Fruits*, **64**: 83-90.
- Naeem S, Chapin III, FS, Costanza R, Ehrlich PR, Golley FB, Hooper DU, Lawton, JH, O'Neill RV, Mooney HA, Sala AE, Symstad AJ, Tilman D. 1999. Biodiversity and ecosystems functioning: Maintening natural life support processus. *Ecological Society of America. Issues in Ecology*, **4**: 1-12.
- Naeem S, Li S. 1997. Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature*, **390**: 507-509.
- Naylor RL, Ehrlich PR, 1997. Natural pest control services and agriculture. In Dayly, G.-C., ed., *Nature's Services*, Washington, dc: Island Press, 151-174.
- Ndiaye AB. 1998. Contribution à l'étude des termites ravageurs d'arbres fruitiers au Sénégal : Inventaire systématique et dégâts. Thèse Doctorat 3^e cycle, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 101p.
- Ndiaye AB, Han SH. 2000. L'attaque des arbres fruitiers par les termites dans les vergers de Saint Louis et de Thiès (Sénégal). *Actes Collections Insectes sociaux*, **13**: 127-132.
- Ndiaye AB, Han SH. 2002. Attaque des arbres fruitiers par les termites en Casamance (Sénégal) (Isoptera). *Bulletin de la Société entomologique de France*, **107**(2): 193-199.
- Ndiaye AB, Han SH. 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 O, Vayssières JF, Rey JY, Ndiaye S, Diedhiou PM, Ba CT, Diatta P. 2012. Seasonality and range of fruit fly (Diptera: Tephritidae) host plants in orchards in Niayes and the Thiès Plateau (Senegal). *Fruits*, **67**: 311-331.
- Nesme T, Lescourret F, Bellon S, Plénet D, Habib R. 2003. Relevance of orchard design issuing from growers' planting choices to study fruit tree cropping systems. *Agronomie*, **23**: 651-660.
- Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, O'Hara RB, SimpsonGL, Solymos P, Stevens MHH, Wagner H. 2011. *Vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.0-2. <http://CRAN.R-projet.org/package=vegan>.

- Ouédraogo SN, Vayssières JF, Dabiré AR, Rouland-Lefebvre C. 2011. Biodiversité des mouches des fruits de l'ouest du Burkina Faso : structure et comparaison des communautés de différents sites. *Fruits*, **66**: 393-404.
- Papy F. 2001. Interdépendance des systèmes de culture dans l'exploitation, in : Malézieux E, Trébuil G, Jaeger M. (Eds.) : Modélisation des agroécosystèmes et aide à la décision, CIRAD/INRA.
- Pavel EW, de Villiers AJ. 2004. Responses of mango trees to reduced irrigation regimes. *Acta Horticulturae*, **646**: 63-68.
- Pearce MJ, Waite BS. 1994. A list of termite genera (Isoptera) with comments on taxonomic changes and regional distribution. *Sociobiology*, **23**: 247-263.
- R Development Core Team, 2010. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0 (Accessed 08 Oct 2012 at: <http://www.R-project.org/>).
- R Development Core Team. 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Fondation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URN <http://www.R-project.org/>.
- Ratnadass A, Malézieux E. 2010. Gestion agro-écologique des cultures fruitières et maraîchères : intensifier les régulations biologiques pour maîtriser les bio-agresseurs. In : Berry Dominique (ed.), De Raïssac Marcel (ed.), Guérin Hubert (ed.). *Inventer une nouvelle agriculture*. Montpellier : CIRAD, 2 p.
- Rey JY. 1974. Etude du dépérissement du manguier au Mali (zone de Katibougou). *Fruits*, **29** (9): 613-617.
- Rey JY, Dia ML. 2010. Mangues: des vergers villageois aux nouvelles plantations d'exportation, in : Durteurtre G, Faye MD, Dieye PN. (Eds) : L'agriculture sénégalaise à l'épreuve des marchés. *ISRA-Karthala, Dakar, Sénégal*, 257-279.
- Rey JY, Diallo TM, Vannière H, Didier C, Sangaré M. 2006. The mango in French-speaking West Africa. *Fruits*, **61**: 281-289.
- Ricci B, Franck P, Bouvier JC, Casado D, Lavigne C. 2011. Effects of hedgerow characteristics on intra-orchard distribution of larval codling moth. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **140**: 395-400.

- Rouland-Lefèvre C. 2011. Termites as Pests of Agriculture. In: Bignell DV, Roisin Y, Lo N, Biology of Termites: a Modern Synthesis. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. *Springer*, 499-517.
- Roy-Noël J. 1966. Mise au point systématique sur les *Coptotermes* (Isoptères) du Sénégal. *Bulletin de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire*, **1**: 146-15.
- Roy-Noël J. 1969. Le parc national de Niokolo-Koba (Sénégal). Isoptera. *Mémoires de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire*, **84**: 114-167.
- Roy-Noël J. 1971. Recherche sur l'écologie et l'éthologie des isoptères de la presqu'île du Cap-Vert. Thèse es Science, Université de Paris, 280p.
- Roy-Noël J. 1972. Recherches sur l'éthologie des Isoptères de la Presqu'île du Cap-Vert (Sénégal). *Bulletin Biologique*, **56**(3): 195-281.
- Roy-Noël J. 1974. Recherches sur l'écologie des isoptères de la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal). *Bulletin de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire*, **24**(2/3) : 291-609.
- Roy-Noël J. 1978. Influence de l'homme sur le peuplement en termites dans la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal occidental). *Memorabilia Zoologica*, **29**: 157-172.
- Roy-Noël J. 1982. L'attaque des arbres par les termites de la Presqu'île du Cap-Vert, (Sénégal) : cas du reboisement de Mbao. *Bulletin de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire*, **44**(1-2): 115-146.
- Roy-Noël J, Wane C. 1977. L'attaque des arbres par les termites de la Presqu'île du Cap-Vert (Sénégal). *Bulletin de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire*, **39**(1): 124-141.
- Roy-Noël J, Wane C. 1978. L'attaque des arbres par les termites de la presqu'île du cap-vert, cas des reboisements sur une dune vive de Malika. *Bull.*, **39**(1): 124-141.
- Samb T, Ndiaye AB, 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*, **2**(1): 313-323.
- Sands WA. 1973. Termites as trees and crops pests. Van de *Faaultei! Landbouwwetencehappen. Rijkuniversiteit Gent*, **38** (3): 817-830.
- Sané CAB, Rouland-Lefèvre C, Grechi I, Rey JY, Vayssières JF, Diamé L, Diarra K. 2016. Diversité, nuisances et modes de gestion des termites (Isoptera) dans les agrosystèmes Sénégalais. *International Journal of Biologica land Chemical Sciences*, **10**(1): 134-154.

- Sarr M. 1999. Etude Ecologique des peuplements de termites dans les jachères et dans les cultures en zone soudano-sahélienne, au Sénégal. Thèse de Doctorat, 3^e cycle, de Biologie Animale, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, 132p.
- Sarr M, Nguya KM, Russell-Smith A, Niassy A. 2005. Diversité des termites (Isoptera) au Sénégal et leurs dégâts sur les cultures et les périmètres reboisés. *International Journal of tropical Insect Science*, **25**: 147-158.
- Schläpfer F, Schmid B, Seidl I. 1999. Expert estimates about effects of biodiversity on ecosystem process and services. *Oikos*, **84**: 346-352.
- Sekamatte B, Latigo M, Russell-Smith A. 2001. The potential of protein- and sugar-based baits to enhance predatory ant activity and reduce termite damage to maize in Uganda. *Crops protection*, **20** (8): 653-662.
- Sembene M. 1998. Modalités d'infestation de l'arachide par la bruche *Caryedon serratus* (Olivier) en zone soudano-sahélienne : Identification morphométrique et génétique des populations sauvages et adaptées. Thèse 3^e cycle, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 128p.
- Senghor AL, Sharma K, Kumar PL, Bandyopadhyay R. 2012. First report of mango malformation disease caused by *Fusarium tuiense* in Senegal. *Plant Disease*, **96**:15-82.
- Shimizu S, Yamaji M. 2003. Effet of density of the termites, *Reticulitermes speratus* Kolbe (Isoptera: Rhinitermitidae), on the susceptibilities to *Metarhizium anisopliae*. *Jap. J. Appl. Entomol. Zool.*, **38**: 125-135.
- Simon S, Bouvier JC, Debras JF, Sauphanor B. 2010. Biodiversity and pest management in orchard systems, a review. *Agron. Sustain. Dev.*, **30**: 139-152.
- Smith E, Van den Berg J. 2003. Effect of Tillage Methods on Termite Damage to Maize in South Africa. *Insect science and its application*, **23** (2): 153-156.
- Sponsler RC, Appel, AG. 1991. Temperature tolerances of the formosan and eastern subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae). *Journal of Thermal Biology*, **16** (1): 41-44.
- Spreer W, Ongsprasert O, Hegele M, Wünsche JN, Müller J. 2009. Yield and fruit development in mango (*Mangifera indica* L. cv. Chok Anan) under different irrigation regimes, *Agric. Water Manag.*, **96**: 574-584.

- Susilo FX, Murwani S, Dewi WS, Aini FK. 2009. Effect of land use intensity on diversity and abundance of soil insects and earthworms in Sumberjaya, Lampung. *Biospecies*, **2**(2), 1-11.
- Swift MJ, Vandermeer J, Ramakrishnan PS, Anderson JM, Ong CK, Hawkins BA. 1996. Biodiversity and agroecosystem function. In Mooney A, Cushman JH, Medina Sala OE, Schulze ED. ed., *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspectives*, New York: Wiley, 261-297.
- Tahiri A, Mangué JJ. 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**: 45-55.
- Tahiri A. 2012. Toxicité du macérât de *Carica papaya* L. contre *Coptotermes formosanus* Shirika (Isoptera : Rhinotermitidae). *Afrique Science*, **8** (3): 93-101.
- Tano Y, Lepage M, 1996. Termites as crop pests of maize in humid savanna of Côte d'Ivoire. Soil Biota, TSBF Report, 29-30.
- Traoré M, Lompo F, Ayuke F, Ouattara B, Ouattara K, Sedogo M. 2012. Influence des pratiques agricoles sur la macrofaune du sol : cas de l'enfouissement de la paille et du fumier. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**: 1761-1773.
- Vannière H, Didier C, Rey JY, Diallo TM, Keita S, Sankharé M. 2004. La mangue en Afrique de l'Ouest francophone : les systèmes de production et les itinéraires techniques. *Fruits*, **59** (6): 383-398.
- Vannière H, Didier C, Rey JY, Diallo TM, Keita S, Sangharé M. 2007. The mango in French-speaking West Africa: cropping systems and agronomical practices. *Fruits*, **62**: 187-201.
- Vayssières JF, Georgen G, Lokossou O, Dossa P, Akponon CA. 2005. A new *Bactrocera* species in Benin among mango fruit fly (Diptera Tephritidae) species. *Fruits*, **60**: 371-377.
- Vayssières JF, Korie S, Coulibaly O, Temple L, Bouyei SP. 2008. The mango tree in central and northern Benin: cultivar inventory, yield assessment, infested stages and loss due to fruit flies (Diptera Tephritidae). *Fruits*, **63**: 335-348.
- Vayssières JF, Sinzogan A, Korie S, Ouagoussounon I, Thomas-Odjo A. 2009. Effectiveness of Spinosad Bait Sprays (GF-120) in Controlling Mango-Infesting Fruit Flies (Diptera: Tephritidae) in Benin. *J. Econ. Entomol.*, **102**: 515-521.

- Vayssières JF, Vannière H, Gueye PS, Barry O, Hanne AM, Korie S, Niassy A, Ndiaye M, Delhove G. 2011. Preliminary inventory of fruit flies species (Diptera Tephritidae) in mango orchard in the Niayes region, Senegal, in 2004. *Fruits*, **66**: 91-107.
- Vázquez Moreno LL. 2013. Agro-écologie: Une nouvelle approche pour augmenter les capacités d'autorégulation de l'agro-écosystème. *Comité Hérault de Cuba Coopération France*, 152p.
- Verma M, Sharma S, Prasad R. 2009. Biological alternatives for termite control: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, **63**(8): 959-972.
- Yachi S, Loreau M. 1999. Biodiversity and ecosystems functioning in a fluctuating environment: The insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Science*, **96**: 1463-1468.
- Yanagawa A, Shimizu S. 2005. Defense strategy of the termite, *Coptotermes formosanus* Shiraki to entomopathogenic fungi. *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.*, **16**: 17-22.
- Yanagawa A, Shimizu S. 2006. Resistance of the termites, *Coptotermes formosanus* Shiraki to *Metarhizium anisopliae* due to grooming. *Biocontrol*, **52**: 75-85.
- Yee WL, Philips PA, Rodgers JL, Faber BA. 2001. Phenology of arthropod pests and associated natural predators on avocado leaves, fruit and in leaf litter in Southern California. *Environ. Entomol.*, **30**: 892-898.
- Yeshitela T, Robbertse PJ, Stassen PJC, Grimbeek J, Van der Linde M. 2003. Fruits thinning intensities and their impact on the yield and quality of 'Sensation' (*Mangifera indica*) fruits. *Trop. Agric.*, **80**: 123-127.
- Yossi H, Kaya B, Traoré CO, Niang A, Butare I, Levasseur V, Sanogo D. 2006. Les haies vives au Sahel. Etat des connaissances et recommandations pour la recherche et le développement, ICRAF Occasional Paper, Nairobi: World Agroforestry Centre, 6.
- Yusuf AA, Gordon I, Crewe RM, Pirk CWW. 2013. An Effective Method for Maintaining the African Termite-Raiding Ant *Pachycondyla analis* in the Laboratory. *African Entomology*, **21**(2): 132-136.
- Yusuf AA, Gordon I, Crewe RM, Pirk CWW. 2014. Prey choice and raiding behaviour of the Ponerine ant *Pachycondyla analis* (Hymenoptera: Formicidae). *Journal of Natural History*, **48** (5-6): 345-358.

- Zaremski A, Fouquet D, Louppe D. 2009. Les Termites dans le Monde. *Cemagref-Cirad-Ifremer-Inra: Paris, France*. 93p.
- Zoberi MH. 1995. *Metarhizium anisopliae*, a fungal pathogen of *Reticulotermes favipes* (Isoptera : Rhinotermitidae). *Mycologia*, **87** (3) : 354-359.

Annexes

Annexe 1 : Fiche d'enquête sur les pratiques de gestion des arboriculteurs

Traitement

1- Est-ce que vous traitez ?

Oui Non

2- Si oui, quelle culture traitez-vous ?

Manguier Agrume Maraîchage Autres

Si maraîchage, quelles cultures :

Si autres cultures, lesquelles ?

3- Quelle partie de la plante traitez-vous ?

Manguier : Sol Tronc Feuillage : à quelle hauteur :

Agrume : Sol Tronc Feuillage : à quelle hauteur :

Maraîchage : si oui, quel pourcentage de couverture du sol du verger par le maraîchage :

4- Quel produit utilisez-vous ?

Manguier :

Produit 1¹ : Nom : Matière active :

Ravageur (s) ciblé (s) :

Nombre d'applications par an :

Fréquence : 1 fois / semaine ; 1 fois / deux semaines ; 1 fois / mois

Période : quel mois : Stade : floraison – 1ers fruits – récolte – végétation – flush

Dose/ traitement : Quantité de bouillie appliquée par arbre ou par superficie :

Produit 2 : Nom : Matière active :

Ravageur (s) ciblé (s) :

Nombre d'applications par an :

Fréquence : 1 fois / semaine ; 1 fois / deux semaines ; 1 fois / mois

¹ Un produit de traitement comprend : le nom commercial, la matière active (à voir sur l'étiquette de l'emballage), une dose d'utilisation (quantité de produit commercial à utiliser par surface ou par arbre), une quantité de bouillie par arbre ou par ha (la bouillie est composée du mélange du produit commercial avec de l'eau). La quantité de bouillie de référence est de 1000 l/ha pour un pulvérisateur à eau et 400 l/ha pour un atomiseur à moteur. 1 pulvérisateur à dos contient en général 20 litres de bouillie. Certains produits commerciaux sont utilisés directement comme le Furadan en granulé sans dilution dans l'eau.

Annexe 1 : Enquête sur les pratiques des arboriculteurs

Période : quel (s) mois : Stade (s) : avant floraison – 1ers fruits – récolte – végétation – flush

Dose/application : Quantité de bouillie appliquée par arbre ou par superficie :

Produit 3 : Nom : Matière active :

Ravageur (s) ciblé (s) :

Nombre d'applications par an :

Fréquence : 1 fois / semaine ; 1 fois / deux semaines ; 1 fois / mois

Période : quel (s) mois : Stade (s) : floraison – 1ers fruits – récolte – végétation – flush

Dose/application : Quantité de bouillie appliquée par arbre ou par superficie :

Agrumes

Produit 1 : Nom : Matière active :

Ravageur (s) ciblé (s) :

Nombre d'applications par an :

Fréquence : 1 fois / semaine ; 1 fois / deux semaines ; 1 fois / mois

Période : quel (s) mois : Stade (s) : floraison – 1ers fruits – récolte – végétation – flush

Dose/application : Quantité de bouillie appliquée par arbre ou par superficie :

Produit 2 : Nom : Matière active :

Ravageur (s) ciblé (s) :

Nombre d'applications par an :

Fréquence : 1 fois / semaine ; 1 fois / deux semaines ; 1 fois / mois

Période : quel (s) mois : Stade (s) : floraison – 1ers fruits – récolte – végétation – flush

Dose/ application : Quantité de bouillie appliquée par arbre ou par superficie :

Produit 3 : Nom : Matière active :

Ravageur (s) ciblé (s) :

Nombre d'applications par an :

Fréquence : 1 fois / semaine ; 1 fois / deux semaines ; 1 fois / mois

Annexe 1 : Enquête sur les pratiques des arboriculteurs

Période : quel (s) mois :..... Stade (s) : floraison – 1ers fruits – récolte – végétation – flush

Dose/ application :..... Quantité de bouillie appliquée par arbre ou par superficie :

Cultures maraîchères :

Produit 1 : Nom : Matière active :

Culture (s)/Ravageur (s) ciblé (s) :

Nombre d'applications par culture :

Fréquence : 1 fois / semaine ; 1 fois / deux semaines ; 1 fois / mois

Période : quel (s) mois :..... Stade (s) : floraison – 1ers fruits – récolte – végétation – flush

Dose/application:..... Quantité de bouillie appliquée par arbre ou par application :

Produit 2 : Nom : Matière active :

Culture (s)/Ravageur (s) ciblé (s) :

Nombre d'applications par culture :

Fréquence : 1 fois / semaine ; 1 fois / deux semaines ; 1 fois / mois

Période : quel (s) mois :..... Stade (s) : floraison – 1ers fruits – récolte – végétation – flush

Dose/application :..... Quantité de bouillie appliquée par arbre ou par superficie :

Produit 3 : Nom : Matière active :

Culture (s)/Ravageur (s) ciblé (s) :

Nombre d'applications par culture:

Fréquence : 1 fois / semaine ; 1 fois / deux semaines ; 1 fois / mois

Période : quel (s) mois :..... Stade (s) : floraison – 1ers fruits – récolte – végétation – flush

Dose/application :..... Quantité de bouillie appliquée par arbre ou par traitement :

Autre(s) culture(s) – si traitement pesticides : espèce :..... (faire une fiche par espèce cultivée)

Produit 1 : Nom : Matière active :

Culture (s)/Ravageur (s) ciblé (s):

Nombre d'applications par culture :

Fréquence : 1 fois / semaine ; 1 fois / deux semaines ; 1 fois / mois

Période : quel (s) mois :..... Stade (s) : floraison – 1ers fruits – récolte – végétation – flush

Dose/application :..... Quantité de bouillie appliquée par arbre ou par traitement :

Taille des arbres

- 5- Est-ce que les arbres sont taillés ? Oui Non
- 6- Fréquence : nombre de fois par an : 1 2 3 moins d'une fois par an
- 7- Quand la taille est-elle pratiquée ?
Mois :
Stade de développement :
- 8- Objectif (s) de la taille :
- limiter la hauteur de l'arbre :
 - Limiter l'encombrement de l'arbre (éviter qu'il ne touche les autres arbres) :
 - Favoriser la lumière dans l'arbre (éclaircissage)
 - Couper les branches mortes et épiphytes : Autre :

Irrigation

- 9- Est-ce que le verger est irrigué ? oui non
- 10- Provenance de l'eau d'irrigation :
- 11- Comment est-il irrigué ? au tuyau à la raie par aspersion
Au goutte-à-goutte autre :
- 12- Quantité d'eau apportée à chaque irrigation ?
ou durée si tuyau d'arrosage : Et/ou taille de lacuvette :
- 13- Quelle est la fréquence d'irrigation ? tous les jours 2 à 3 fois par semaine
1 fois par semaine tous les 10 jours tous les 15 jours autre :
- 14- A quelle période est faite l'irrigation ?
Toute l'année avant floraison début floraison
début fructification maturation récolte
- 15- pendant combien de temps est faite l'irrigation ?

Fertilisation

- 16- Est-ce que le verger est fertilisé ? oui non
- 17- Quel est la nature du fertilisant ? Fumier 10 10 20 Urée
Autre :

18- Provenance du fertilisant :

- Troupeau de
- Poulailier :
- Magasins de vente de produits agricoles :
- Autres :

19- Quelle quantité utilisez-vous pour fertiliser ?

- **Fumier** : Nombre de seau /Pied :Nombre de Brouettes/Pied :
Nombre de sacs/Pieds :
- Poids d'un seau : Poids d'une brouette : Poids d'un sac :
- **Urée** : Nombre de kg /Pieds :
- **10 10 20** : Nombre de kg /Pieds :
- **Autre** : Nom : Nombre de kg /Pieds :

20- Quelle est la fréquence de fertilisation ? tous les mois 1 fois par an

2 fois par an 3 fois par an 1 fois tous les 2 ans autre

21- A quelle période est faite la fertilisation ?

Toute l'année avant floraison début floraison

début fructification maturation après récolte autre avant
hivernage et avant début irrigation

Entretien du verger

22- Le verger est-il entretenu ? Oui Non

23- Si oui, quelle est le type d'entretien ? Mécanique Sanitaire

Mécanique : Labour désherbage ramassage des feuilles Autres :

Fréquence : tous les mois tous les 2 mois tous les trimestres 1 fois par an

2 fois par an 3 fois par an autre

Sanitaire : Les fruits tombés sont-ils ramassés ? Oui Non

Si oui, à quelle (s) période (s) a (ont) lieu le (s) ramassage (s) des fruits ? Premiers
avortements avant la récolte pendant la récolte après la récolte avant
et pendant la récolte pendant et après la récolte avant, pendant et après la récolte
Autre

Fréquence : une fois par semaine deux fois par semaine une fois par quinzaine
une fois par mois une fois par campagne autre

Que deviennent les fruits ramassés : mis dans un coin du verger enfuis dans un trou
mis dans des sacs à plastique donnés au bétail autre

Annexe 2 : Fiche de caractérisation des agrosystèmes de manguiers

Site de Prospection : Date : / / Propriétaire ou gardien :

Coordonnées GPS du verger ou de la parcelle : Contact Propriétaire :

Numéro	verger	parcelle	arbre	espèce	variété	variétéDG	DistIR	DistSLR	hauteur	diamfrond	vigueur	litière	état
1													
2													
3													
4													
-													
-													
-													
98													
99													
100													

Annexe 3 : Fiche d'évaluation des états des arbres et des dégâts des termites

Numéro	Verger	Parcelle	Variété	Circonf	EtatArb	DegatTrc	RepatAtq	Oecoph
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
-								
-								
-								
-								
35								
36								
37								
38								
39								
40								

Annexe 4: Compléments résultats chapitre 2.

B.1. Definition and characterization of the orchard clusters

Figure B1 shows the results of the hierarchical clustering performed using the orchard design and management variables as active ones. The hierarchical clustering suggested a clustering into four orchard clusters.

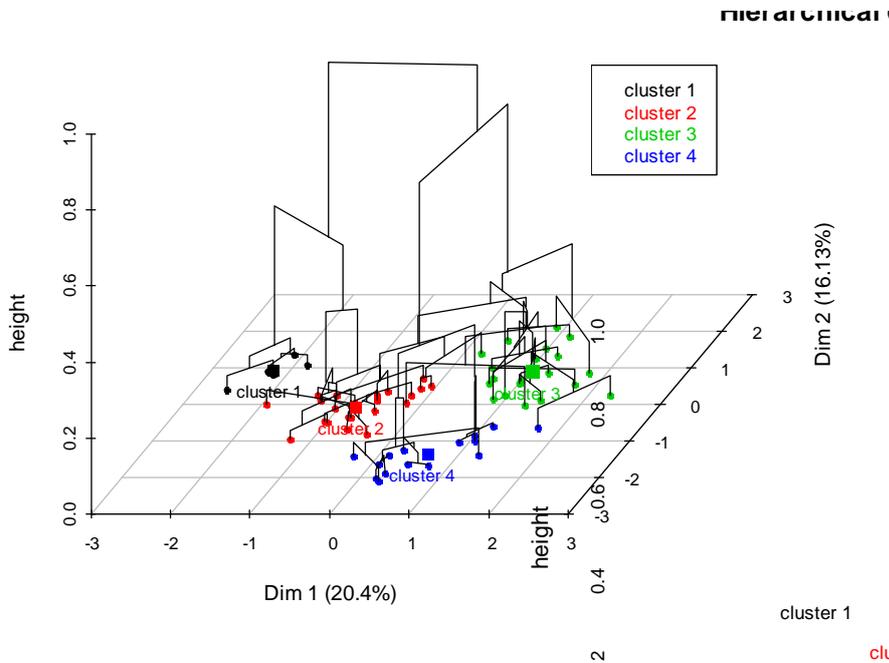


Figure B1. Hierarchical clustering of the orchards obtained from the orchard planting design and management variables: 3-dimensional representation of the hierarchical tree and clusters on the map induced by the 1-2 MFAH principal components.

Points represent individual orchards. Squares represent barycentres of individuals in each cluster.

The clusters were well-separated by the first two principal components of the MFAH performed on the orchard design and management variables prior to clustering. Information on the contribution of the ‘active’ variables to the MFAH components is given in figure B2.

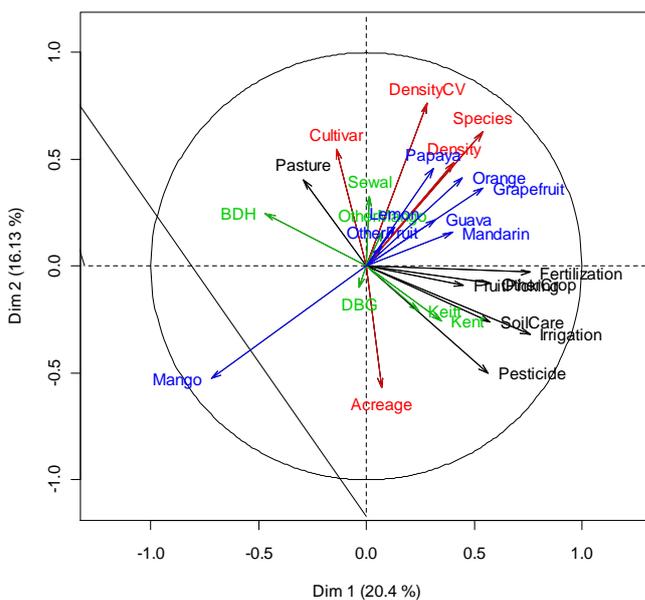


Figure B2. Correlation plot of the orchard design and management variables with respect to the 1-2 MFAH dimensions.

Black: variables of the management group; Colored: variables of the planting design group structured into seven sub-groups, i.e., the five sub-groups composed of a single variable (Red), the sub-group representing the composition of the orchard in mango tree cultivars (Green) and the sub-group representing the composition of the orchard in fruit tree species (Blue).

A characterization of the orchard clusters with active and illustrative variables is given figure 2.

The localization of the 64 orchards in the four geographic areas is given for each of the orchard clusters (or cropping systems) in table BI. The five orchards in cluster 1 were all located in Pékou and Pout. The orchards in cluster 2 were fairly equally located in the four geographic areas. The orchards in cluster 3 were mostly located in Sébikotane (85% of the orchards in cluster 3 vs. 34.4% of the orchards in the entire sample; $P < 1e-04$). The orchards in cluster 4 were mostly located in Notto (93.3% vs. 31.3%; $P < 1e-04$).

Table BI.

Table 7: Geographic localization of the orchards according to the orchard clusters.

Orchards ^(a)	Geographic areas ^(b)			
	Notto ($n = 20$)	Pékou ($n = 10$)	Pout ($n = 12$)	Sébikotane ($n = 22$)
Entire sample ($n = 64$)	31.3%	15.6%	18.7%	34.4%
Cluster 1 ($n_q = 5$)	0%	40%	60%	0%
Cluster 2 ($n_q = 24$)	20.8%	33.3%**	29.2%	16.7%*
Cluster 3 ($n_q = 20$)	5%**	0%*	10%	85%****
Cluster 4 ($n_q = 15$)	93.3%****	0%	0%	6.7%*

^(a) Orchard clusters are defined in section 3.2 (1: ‘No-input mango diversified orchards’, 2: ‘Low-input mango orchards’, 3: ‘Medium-input citrus predominant orchards’, 4: ‘Medium-input large mango or citrus predominant orchards’).

^(b) Values stand for the % orchards in the entire orchard sample or in an orchard cluster that were located in a given geographic area (e.g., 20.8% of the orchards in the orchard cluster 2 were located in Notto). n is the number of orchards in the entire sample or sampled in a geographic area. n_q is the number of orchards belonging to a cluster. Asterisks indicate the p-value of the χ -test (**** $P < 1e-04$, *** $P < 1e-03$, ** $P < 1e-02$ and * $P < 5e-02$) used to identify the variables that characterize the most the orchard clusters.

B.2. Definition and characterization of the hedgerow clusters

A typology of the hedgerows surveyed in 54 orchards was built based on the vegetative structure (abundance and composition in species utilities) of their perennial part (table I). Figure B3 shows the obtained partition of the orchards into four ‘hedgerow’ clusters. Only the hedgerow located in orchard n°35 changed from cluster 4 (figure B3-A) to cluster 2 after consolidation (figure B3-B). The consolidated clusters 1 to 4 contained respectively 4, 8, 17 and

10 orchards. These clusters were well-separated on the 1-2 MFAH principal components (*figure B3-B*). Information on the contribution of the hedgerow structure variables to these components is available in *figure 1-D*. A description of the clusters with active hedgerow variables is given *table BII*.

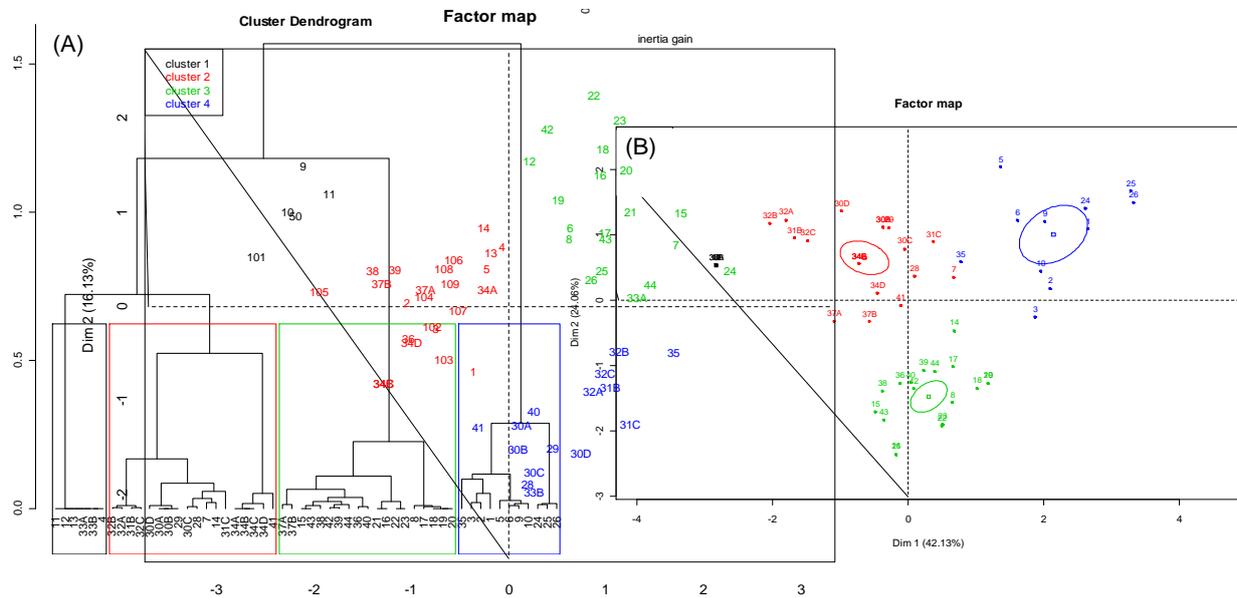


Figure B3. Hierarchical clustering of the orchards obtained from the hedgerow structure variables: (A) hierarchical tree and (B) partition of the orchards, after consolidation, displayed on the factor map produced by the 1-2 MFAH principal components.

Numbers stand for the identity number of the orchards on which the hedgerows were located. (A) Colored boxes enclosed orchards of the same ‘hedgerow’ cluster. (B) Squares represent the barycentres of individuals in each cluster surrounded by their confidence ellipses at a 90% confidence level.

Table BII.

Table 8: Characterization of the hedgerow clusters with active variables (Mean, Standard deviation (SD), Minimal (Min) and Maximal (Max; n stands for the number of orchards in the sample).

Variable	Overall hedgerows ($n=54$)		Hedgerow cluster 1	Hedgerow cluster 2	Hedgerow cluster 3	Hedgerow cluster 4
	Mean±SD	[Min-Max]	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD
<i>Hedge</i>	72.3±33.4	[0-100]	0±0****	57.9±22.1*	98.6±5.9****	86.4±20.5
<i>HedgeSpecies</i>	6.22±3.72	[0-15]	0±0****	5.16±1.64	4.50±1.62	11.6±2.25****
<i>HedgeCover</i>	71.3±41.6	[0-156]	0±0****	60.6±24.7	84.9±36.3	106.4±29.6**
<i>Use₁</i>	39.3±33.4	[0-100]	NA	12.7±16.5****	75.3±16.9****	26.5±20.6
<i>Use₂</i>	38.0±32.6	[0-95]	NA	64.7±29.6****	11.6±13.0****	34.9±22.5
<i>Use₃</i>	17.0±15.5	[0-71]	NA	21.2±20.9	11.9±9.6	18.2±9.9
<i>Use₄</i>	2.4±4.4	[0-14]	NA	0.58±2.1*	0.11±0.47**	9.2±4.2****
<i>Use₅</i>	3.5±6.0	[0-25]	NA	1.1±1.8*	1.0±2.4*	11.6±7.6****

Asterisks indicate the p-value corresponding to the v-test (**** $P < 1e-04$, *** $P < 1e-03$, ** $P < 1e-02$ and * $P < 5e-02$) and identify the variables that characterize the most the hedgerow clusters.