



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE
UFR AGROFORESTERIE

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE : 2021 - 2022

N° D'ORDRE : 063

CANDIDAT

Nom : YEO

Prénom : LACINA

THESE DE DOCTORAT

Mention : Agriculture et Foresterie Tropicale

Spécialité : Agropédologie

**Potentialités agronomiques du produit résiduaire
issu du piégeage de termites en riziculture pluviale à
l'ouest de la Côte d'Ivoire**

JURY

Président : M. KONE Tidiani, Professeur Titulaire, Université Jean
Lorougnon Guédé ;

Directeur : M. SORO Dogniméton, Maître de Conférences, Université
Jean Lorougnon Guédé ;

Rapporteur : M. KOUADIO Konan-Kan Hippolyte, Maître de
Conférences, Université Félix Houphouët Boigny ;

Examineur : M. BAKAYOKO Sidiky ; Professeur Titulaire, Université
Jean Lorougnon Guédé ;

Examineur : M. YEO Kolo, Professeur Titulaire, Université Nangui
Abrogoua.

**Soutenu publiquement
le : 25/11/2022**

TABLE DE MATIÈRES	PAGES
TABLE DE MATIÈRES.....	i
DÉDICACE.....	vii
REMERCIEMENTS	viii
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	xi
LISTE DES TABLEAUX.....	xii
LISTE DES FIGURES	xiv
LISTE DES ANNEXES.....	xvi
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS	5
Chapitre 1. Termites et fertilité du sol.....	5
Introduction partielle	5
1.1. Généralités sur les termites	5
1.1.1. Morphologie du termite.....	5
1.1.2. Classification des termites.....	6
1.1.3. Organisation sociale des termites	7
1.1.4. Biologie des principaux groupes trophiques de termites	8
1.1.4.1. Termites champignonnistes.....	8
1.1.4.2. Termites xylophages	9
1.1.4.3. Termites fourrageurs	9
1.1.4.4. Termites humivores.....	10
1.1.5. Rôle des termites	11
1.1.6. Dégâts occasionnés par les termites	12
1.1.7. Synthèse des recherches sur les termites en Côte d'Ivoire.....	12
1.2. Action des termites sur le sol	13
1.2.1. Actions sur les propriétés physiques	13
1.2.2. Actions sur les propriétés chimiques.....	14
1.2.3. Actions sur les propriétés biologiques	14
1.3. Fertilité des sols et fertilisation des cultures	15
1.3.1. Fertilité des sols.....	15
1.3.2. Fertilisation des cultures.....	15
1.3.2.1. Bases de la fertilisation des cultures	16
1.3.2.2. Engrais.....	16

1.3.2.3. Types de fertilisation.....	17
1.3.2.3.1. Fertilisation minérale.....	17
1.3.2.3.2. Fertilisation organique.....	17
1.3.2.3.3. Fertilisation organominérale	18
1.3.2.4. Amendements.....	19
1.3.2.4.1. Amendements organiques	19
1.3.2.4.2. Amendements minéraux.....	19
1.3.3. Produits résiduaire recyclés en agriculture	20
1.3.4. Recyclage des déchets agricoles par les termites	21
Conclusion partielle.....	21
Chapitre 2 : Généralités sur le riz.....	22
Introduction partielle	22
2.1. Origine et systématique du riz.....	22
2.2. Morphologie de la plante.....	22
2.2.1. Organes végétatifs	23
2.2.2. Organes de reproduction	24
2.3. Croissance et développement du riz.....	24
2.4. Exigences écologiques de la plante de riz	25
2.4.1. Exigences climatiques	25
2.4.2. Exigences édaphiques	26
2.4.3. Nutrition minérale du riz	26
2.4.3.1. Effet de carence en azote.....	27
2.4.3.2. Effet de carence en phosphore	27
2.4.3.3. Effet de carence en potassium	27
2.4.3.4. Toxicité ferreuse.....	27
2.5. Importance du riz	28
2.6. Etat des lieux de la fertilisation du riz en Côte d'Ivoire.....	29
2.7. Contraintes à la fertilisation du riz	29
Conclusion partielle.....	30
Chapitre 3 : Généralités sur le milieu d'étude.....	31
Introduction partielle	31
3.1. Cadre de l'étude	31
3.2. Caractéristiques du milieu.....	31

3.2.1. Climat	31
3.2.2. Végétation	31
3.2.3. Réseau hydrographique	32
3.2.4. Sols et géomorphologie	32
3.2.5. Activités socio-économiques.....	33
Conclusion partelle.....	33
DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES	35
Chapitre 4 : Matériel et méthodes	35
Introduction partielle	35
4.1. Sites d'étude	35
4.2. Matériel	35
4.2.1. Matériel technique pour la production du produit résiduaire	35
4.2.2. Matériel pour la collecte et l'identification des termites.....	37
4.2.3. Matériel technique de terrain.....	38
4.2.4. Matériel technique de laboratoire.....	39
4.2.5. Matériel pour le test agronomique	40
4.2.5.1. Matériel biologique	40
4.2.5.2. Matériel technique pour l'évaluation agronomique	41
4.2.6. Substances fertilisantes	42
4.3. Méthodes	42
4.3.1. Production et caractérisation du produit résiduaire.....	42
4.3.1.1. Production du produit résiduaire	42
4.3.1.2. Caractérisation physico-chimique du "Termisol" et du sol.....	44
4.3.1.3. Efficacité de l'activité des termites	44
4.3.2. Identification des termites impliqués dans la production du "Termisol"	45
4.3.3. Evaluation agronomique du "Termisol"	45
4.3.3.1. Dispositif expérimental	45
4.3.3.2. Caractérisation du sol	47
4.3.3.3. Amendement du sol.....	50
4.3.3.4. Test de germination.....	50
4.3.3.5. Semis	50
4.3.3.6. Collecte des données	51
4.3.3.6.1. Paramètres végétatifs de croissance	51

4.3.3.6.1.1. Taux de levée	51
4.3.3.6.1.2. Emission foliaire	51
4.3.3.6.1.3. Surface foliaire	51
4.3.3.6.1.4. Hauteur des plantes	51
4.3.3.6.1.5. Détermination de la biomasse et la taille des racines.....	51
4.3.3.6.2. Diagnostic foliaire	52
4.3.3.6.3. Paramètres de production	52
4.3.3.6.3.1. Qualité du tallage par plante et nombre de panicules par talle.....	52
4.3.3.6.3.2. Epiaison et floraison.....	52
4.3.3.6.3.3. Détermination de la longueur de la panicule.....	53
4.3.3.6.3.4. Evaluation du rendement en paddy	53
4.3.4. Effet du ‘‘Termisol’’ sur les propriétés physico-chimiques du sol.....	54
4.3.5. Traitements des données	54
Conclusion partielle.....	54
TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION	56
Chapitre 5 : Caractéristiques du produit résiduaire et termites impliqués dans sa production	56
Introduction partielle	56
5.1. Caractéristiques chimiques des résidus agricoles.....	56
5.2. Production du ‘‘Termisol’’.....	56
5.2.1. Activités des termites	56
5.2.2. Caractéristiques de l’activité des termites dans le piège	57
5.2.3. Efficacité de l’activité de production du ‘‘Termisol’’	58
5.2.3.1. Efficacité liée à la récolte	58
5.2.3.2. Efficacité du piège.....	59
5.3. Caractéristiques physico-chimiques du sol et des ‘‘Termisol’’	60
5.4. Identification des termites impliqués dans la production du ‘‘Termisol’’	62
5.5. Discussion	63
Conclusion partielle.....	67
Chapitre 6 : Évaluation agronomique du produit résiduaire de termitières en riziculture pluviale	68
Introduction partielle	68
6.1. Pluviométrie de la zone de production de 2018 - 2019.....	68
6.2. Caractérisation morpho-pédologique du site agricole.....	69
6.3. Effet du ‘‘Termisol’’ sur la croissance et la production du riz pluvial	71

6.3.1. Effet de la dose de ‘‘Termisol’’ sur la hauteur des plants de riz.....	71
6.3.2. Effet de la dose de ‘‘Termisol’’ sur le nombre de feuilles à 43 jas.....	72
6.3.3. Effet de la dose de ‘‘Termisol’’ sur la surface foliaire	72
6.3.4. Effet de la dose de ‘‘Termisol’’ sur la production de biomasse sèche chez le riz	72
6.3.5. Cumul des deux cycles sur le développement des organes	73
6.3.6. Effet du type de fertilisant sur la croissance du riz	74
6.3.6.1. Effet du type de fertilisant sur la hauteur du plant	74
6.3.6.2. Effet du type de fertilisant sur le nombre de feuilles chez le riz	74
6.3.6.3. Effet du type de fertilisant sur la surface foliaire du riz.....	75
6.3.6.4. Effet du type de fertilisant sur la production de biomasse chez le riz.....	75
6.3.6.5. Cumul des deux cycles sur le développement des organes	76
6.4. Effet du ‘‘Termisol’’ sur la productivité du riz.....	76
6.4.1. Effet de la dose de ‘‘Termisol’’ sur le tallage chez le riz	77
6.4.1.1. Effet de la dose de ‘‘Termisol’’ sur le nombre total de talles	77
6.4.1.2. Effet de la dose de ‘‘Termisol’’ sur le nombre de talles fertiles	78
6.4.1.3. Effet de la dose de ‘‘Termisol’’ sur le nombre de talles infertiles	79
6.4.2. Effet de la dose de ‘‘Termisol’’ sur le poids de 1000 grains, l’humidité du grain et le rendement	79
6.4.3. Effet du type de fertilisant sur le tallage chez le riz	82
6.4.4. Effet du type de fertilisant sur le poids de 1000 grains, l’humidité du grain et le rendement frais	82
6.5. Relation entre les paramètres de croissance et de production chez le riz	84
6.6. Diagnostic foliaire	87
6.6.1. Eléments majeurs	87
6.6.2. Eléments secondaires	89
6.6.3. Oligo-éléments	89
6.7. Efficacité du ‘‘Termisol’’	89
6.8. Discussion	91
Conclusion partielle.....	94
Chapitre 7 : Effets du produit résiduaire de termitière sur les propriétés du sol en riziculture	95
Introduction partielle	95
7.1. Caractéristiques physico-chimiques du sol avant culture et des substrats	95
7.2. Évolution des paramètres physico-chimiques des sols	96
7.2.1. Granulométrie.....	96

7.2.2. Acidité du sol	96
7.2.3. Paramètres bioorganiques	97
7.2.4. Paramètres chimiques.....	100
7.3. Effet du ‘‘Termisol’’ sur la perméabilité, l’humidité et la température	102
7.4. Mise en relation des paramètres étudiés.....	103
7.4.1 Relation entre les paramètres du sol et les paramètres de croissance végétale du riz...	103
7.4.2. Relation entre les paramètres du sol et les paramètres de production du riz	107
7.5. Discussion	111
Conclusion partielle.....	114
CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES	116
RÉFÉRENCES.....	119
ANNEXES	xvii
PUBLICATIONS	
RÉSUMÉ	

DÉDICACE

Je dédie ce mémoire à la mémoire de mes parents à qui je ne cesserai de dire merci pour leur soutien à tous les niveaux. Reposez en paix !

REMERCIEMENTS

Une thèse est un travail d'équipe qui s'enrichit des différents échanges et collaborations. Au cours de ces trois années d'étude, j'ai interagi avec de nombreuses personnes qui m'ont fait évoluer et devenir ce que je suis. Cette thèse a donc pu être réalisée grâce à la sollicitude, au soutien et aux encouragements de personnes que je tiens à remercier très sincèrement.

Je remercie Madame TIDOU Abiba Sanogo, Epse Koné, Professeur Titulaire en Écotoxicologie, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG), pour avoir autorisé mon inscription en thèse et pour toutes les facilités qu'elle fait en vue du bon fonctionnement de l'institution qu'elle dirige.

À Monsieur KONÉ Tidiani, Professeur Titulaire en Hydrobiologie, Vice-président chargé de la pédagogie, de la vie universitaire, de la recherche et de l'innovation technologique, j'exprime toute ma gratitude pour les orientations et le travail constant fait pour la bonne marche de l'UJLoG et surtout pour ses encouragements à mon endroit.

À Monsieur AKAFFOU Doffou Sélastique, Professeur Titulaire en Génétique, Vice-président chargé de la planification et des relations extérieures de l'UJLoG, je dis merci pour ses actions en faveur de la visibilité externe de l'UJLoG.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à la Directrice de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) Agroforesterie, Madame TONESSIA Dolou Charlotte, Maître de Conférences en Physiologie Végétale qui a accepté mon inscription au sein de l'UFR qu'elle dirige.

Je remercie Monsieur SORO Dogniméton, Maître de Conférences en Agropédologie, à l'UJLoG, Directeur Scientifique de ce travail de thèse, pour m'avoir accepté comme étudiant et de m'initier à la recherche. Sa rigueur et son objectivité dans le travail bien fait ont été une source d'inspiration pour moi. Ses conseils et surtout la confiance qu'il m'a accordée, m'ont permis de m'épanouir tout au long de ce travail.

Je tiens à remercier sincèrement les membres du jury de ce mémoire, à savoir :

- Monsieur KONÉ Tidiani, Professeur Titulaire en Hydrobiologie à l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour avoir accepté de présider le jury de cette thèse ;

- Monsieur KOUADIO Konan-Kan Hippolyte, Maître de Conférences en Agropédologie à l'Université Félix Houphouët Boigny, pour sa contribution à l'amélioration de ce mémoire et pour avoir accepté de faire partie du jury en tant que rapporteur ;
- Monsieur BAKAYOKO Sidiky, Professeur Titulaire en Agropédologie à l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour sa contribution à l'amélioration de ce travail en tant qu'examineur ;
- Monsieur YÉO Kolo, Professeur Titulaire en Entomologie – Myrmécologie à l'Université Nangui Abrogoua, pour sa contribution à l'amélioration de ce travail en tant qu'examineur.

À Monsieur KOUADIO Yatty Justin, Professeur Titulaire en Biotechnologie et Agrophysiologie, j'adresse mes remerciements pour ses encouragements à mon endroit.

À Monsieur BEUGRÉ Grah Avit Maxwell, Professeur Titulaire en Biochimie, Responsable du laboratoire d'Agrovalorisation de l'Université Jean Lorougnon Guédé, j'exprime toute ma gratitude pour ses conseils et ses encouragements qui ont été d'un apport important dans mon travail de recherche.

Je remercie Monsieur SORO Sénan, Professeur Titulaire en Entomologie à l'UJLoG, pour ses conseils et encouragements durant mes travaux. Je tiens à lui exprimer tout mon attachement.

À Monsieur SORO Dofara, Professeur Titulaire en Biologie et production animale à l'Université Nangui Abrogoua, j'exprime ma reconnaissance pour son soutien permanent pendant la réalisation de ce travail.

À Monsieur LOZO Roméo N'Guessan, Maître – Assistant en Hydrobiologie, à l'Université Félix Houphouët Boigny, j'adresse mes remerciements, pour m'avoir encouragé et motivé à chaque fois que cela était nécessaire.

Je remercie Monsieur COULIBALY Tenon, Maître de Conférences en Écologie Tropicale, à l'Université Péléforo Gon Coulibaly, qui m'a initié à l'identification des termites.

J'exprime mes remerciements à Messieurs DIAHUISSIÉ Salomon et TOURÉ Ambéyin respectivement pour leurs aides à l'identification des termites et pendant mes travaux.

Aux grands frères KONATÉ Mamoutou, YÉO Nouwala et TUO Minkpoho, j'adresse mes remerciements pour leurs soutiens et leurs encouragements ;

À Monsieur ANGUÉTÉ Kouamé, à la station CNRA de Man, je dis merci, pour m'avoir fourni la semence de la variété de riz IDSA 10.

À Messieurs YAO Koffi Aimé, YOUAN Bi Trayé Dominique et KADIO Yamoi Benoît, je dis également merci pour la qualité de la formation reçue lors de mon stage au LAVESO de l'ESA.

Je remercie Monsieur SIALLOU Kouassi Moïse, Proviseur du Lycée Moderne 5 Daloa ; ses adjoints Messieurs KOUADIO Koffi Blaise Richard et SOULEYMANE Soro, ainsi que le personnel dudit établissement, pour leur soutien. Une pensée spéciale à tous mes collègues, qui ont toujours été là pour moi pendant toutes ces années. Il s'agit de Messieurs ANÉ Étien, TOGBA Hermann, COULIBALY Djakaridja, DOBÉ Zriyo Patrick Alex, KÉITA Gaoussou, et YÉO Djakaridja.

Mes remerciements vont également à l'endroit de tous les membres de ma famille pour leur affection, leur soutien matériel et moral. Ils ont été pour moi, une grande source de ressourcement. Il s'agit de mon épouse SÉKONGO Nolourou Barakissa, de ma fille YÉO Wodanhan Esther, de Messieurs YÉO Gnénissongui Joseph, KOUADIO Kouamé Edmond, SÉKONGO Mèfonga, COULIBALY Lazéni et de YÉO Yaraba.

Enfin, je remercie toutes ces personnes non citées ici, qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail.

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ADRAO	: Association pour le développement du riz en Afrique de l'Ouest (actuel Africarice)
ACP	: Analyse en Composantes Principales
ANADER	: Agence Nationale d'Appui au Développement Rural
ANOVA	: Analysis Of Variance ou Analyse de variance
CEC	: Capacité d'échange cationique
CNRA	: Centre National de Recherche Agronomique
ESA	: École Supérieure d'Agronomie
FAO	: Food and Agriculture Organisation ou organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FIRCA	: Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricole
GPS	: Global Positioning System
H (%)	: Taux d'humidité
INPHB	: Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny
LAVESO	: Laboratoire d'Analyse des Végétaux et Sols
LM5	: Lycée Moderne 5 Daloa
MO	: Matière organique
ONDR	: Office National de Développement de la riziculture
P.ass.	: Phosphore assimilable
%	: Pour cent
PIB	: Produit Intérieur Brut
PPDS	: Plus Petite Différence Significative
“Termisol”	: Produit Résiduaire des Termites
RCB	: Blocs Complets Randomisés
RNA	: Recensement National de l'Agriculture
S	: Somme des bases échangeables
UJLoG	: Université Jean Lorougnon Guédé
V (%)	: Taux de saturation en bases
YR	: Yellow Red ou teinte orange

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Nombre de genres et espèces de termites dans chaque famille	7
Tableau II : Matériel technique de laboratoire pour la mesure des paramètres physico-chimiques du sol	39
Tableau III : Caractéristiques agronomiques de la variété de riz IDSA 10.....	41
Tableau IV : Caractéristiques des résidus agricoles.....	56
Tableau V : Caractéristiques de la production du ‘‘Termisol’’ par les termites dans le piège	58
Tableau VI : Caractéristiques physico-chimiques du sol témoin et du ‘‘Termisol’’ maïs et cacao	61
Tableau VII : Genres de termites récoltés dans les pièges sur les deux sites.....	63
Tableau VIII : Variation du nombre de feuilles, de la surface foliaire et de la hauteur du riz au cours des deux cycles	71
Tableau IX : Variation de la biomasse du riz pendant deux cycles de culture selon la dose de fertilisant	73
Tableau X : Variation des paramètres de croissance en fonction des doses de fertilisants (moyenne des 2 cycles).....	74
Tableau XI : Variation des paramètres de croissance du riz sur deux cycles de culture selon le type de fertilisant apporté.....	75
Tableau XII : Variation des paramètres de croissance en fonction des types de fertilisants (moyenne de 2 cycles).....	76
Tableau XIII : Productivité moyenne du riz sur 2 cycles de culture en fonction des doses de fertilisant.....	77
Tableau XIV : Évolution du tallage en fonction des traitements à travers les cycles (2018 et 2019).....	78
Tableau XV : Évolution moyenne des paramètres de production durant les deux cycles	80
Tableau XVI : Effet du type de fertilisant sur les paramètres de production durant les deux cycles	83
Tableau XVII : Variation des paramètres de production en fonction des types de fertilisants (moyenne de 2 cycles).....	84
Tableau XVIII : Matrice de corrélation entre la croissance et la production végétale.....	85
Tableau XIX : Descriptif des différents groupes formés dans le plan ACP par les variables d'étude	87

Tableau XX : Diagnostic foliaire du riz lors des 2 cycles.....	88
Tableau XXI : Caractéristiques physico-chimiques du sol témoin, de la terre de termitière et du "Termisol"	95
Tableau XXII : Paramètres physico-chimiques du sol après le cycle 1	98
Tableau XXIII : Paramètres physico-chimiques du sol après le cycle 2.....	99
Tableau XXIV : Coefficient de perméabilité, humidité et température en fonction des traitements.....	103
Tableau XXV : Matrice de corrélation des paramètres du sol et des paramètres de croissance de la plante de riz.....	104
Tableau XXVI : Descriptif des différents groupes formés dans le plan 1-2 par les variables d'étude.....	107
Tableau XXVII : Matrice de corrélation des paramètres du sol et des paramètres de production végétale.....	109
Tableau XXVIII : Descriptif des différents groupes formés dans le plan ACP par les variables d'étude.....	111

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Vue dorsale de 2 termites de la famille des Termitidae.....	6
Figure 2 : Collecte de termites dans des pièges au nord de la Côte d'Ivoire pour l'alimentation de la volaille.....	11
Figure 3 : Termitière de <i>Trinervitermes sp</i>	13
Figure 4 : Morphologie d'un plant de riz	23
Figure 5 : Phases de développement montrant le tallage de la plante de riz.....	25
Figure 6 : Carte de la végétation de Côte d'Ivoire.....	32
Figure 7 : Sites de production du produit résiduaire et de l'essai agronomique	36
Figure 8 : Résidus agricoles, bouses sèches de bovin, appât et matériel technique de production du produit résiduaire	37
Figure 9 : Matériel de tri, de conservation et d'identification des termites	38
Figure 10 : Matériel technique d'étude du sol sur le terrain	38
Figure 11 : Divers appareils de laboratoire	40
Figure 12 : Variété de riz IDSA 10	40
Figure 13 : Matériel technique de mesure des paramètres agronomiques	42
Figure 14 : Schéma du dispositif expérimental appliqué pour la collecte du produit résiduaire des termites	43
Figure 15 : Étapes de la collecte des termites et du produit résiduaire	44
Figure 16 : Schéma du dispositif expérimental appliqué au champ.....	46
Figure 17 : Mesure de l'infiltration, de l'humidité et de la température	49
Figure 18 : Évaluation de la surface foliaire	51
Figure 19 : Évaluation de la biomasse, la longueur des racines des plants de riz et des panicules	52
Figure 20 : Récolte et évaluation du taux d'humidité.....	53
Figure 21 : Piège vu de l'intérieur	57
Figure 22 : Variation des taux de dégradation des résidus et de "Termisol" selon les récoltes à UJLoG et au LM5	59

Figure 23 : Variation des taux de dégradation des résidus et de ‘‘Termisol’’ selon les pièges à UJLoG et au LM5	60
Figure 24 : Textures des sols des sites de production et des types de ‘‘Termisol’’ produits... 62	62
Figure 25 : Genres de termites impliqués dans la production du ‘‘Termisol’’	63
Figure 26 : Diagrammes ombrothermiques de 2018 et 2019 dans la zone	68
Figure 27 : Profils de sol du site d’étude.....	70
Figure 28 : Évolution du rendement sec en paddy en fonction du fertilisant.....	81
Figure 29 : Courbes de rendement en paddy en t.ha ⁻¹ en fonction de la dose aux cycles 1 et 2	81
Figure 31 : ACP associant les paramètres de croissance et de production de la variété de riz IDSA10	86
Figure 32 : Efficacité du ‘‘Termisol’’ par rapport aux témoins.....	90
Figure 33 : Textures des sols des parcelles avant et après culture	97
Figure 34 : ACP associant les paramètres du sol et de croissance des plants de riz	106
Figure 35 : ACP associant les paramètres du sol et de production du riz	110

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Niveaux critiques d'interprétation des valeurs des éléments chimiques.....	xvii
Annexes 2 : Pluviométrie et température durant les années 2018 et 2019.....	xviii
Annexe 3 : Efficacité des doses de "Termisol" selon le cycle.....	xix

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'agriculture vivrière en Afrique subsaharienne est caractérisée par une faible productivité due à l'appauvrissement rapide des sols en éléments nutritifs et aux effets conjugués de la mauvaise gestion des terres agricoles, de la variation des conditions climatiques et la croissance démographique (Sanchez *et al.*, 1997 ; Bationo *et al.*, 2004). Ainsi, la place prépondérante occupée par l'agriculture dans l'économie de la Côte d'Ivoire oblige l'agriculteur à recourir à des techniques agricoles modernes comme la sélection variétale, l'utilisation rationnelle des pesticides et des engrais chimiques, pour améliorer les rendements (N'Goran, 1995). Dans cette zone ouest africaine où agriculteurs et éleveurs cohabitent, les résidus agricoles sont généralement prélevés après les récoltes par les exploitants pour des usages domestiques, ou consommés par les animaux d'élevage durant la saison sèche soit brûlés par les feux de brousse en vue de constituer de nouveaux pâturages. Ces actions favorisent la perte des éléments nutritifs des sols, entraînant une rupture dans le renouvellement des matières organiques des sols. Par ailleurs, la jachère, méthode traditionnelle de restauration de la fertilité des sols, est de moins en moins pratiquée du fait de la forte pression sur les terres exploitables due aux besoins croissants engendrés par l'accroissement démographique (N'Goran *et al.*, 1997). Ces contraintes sont parfois exacerbées par la pratique de la culture continue, la faible utilisation des engrais minéraux et l'état de pauvreté des producteurs (Gray, 2005). Cependant, si les engrais chimiques ont une action bénéfique rapide sur la productivité des cultures justifiant leur utilisation, leur mauvais usage induit la dégradation des sols par la perte du statut organique et par l'acidification. Par ailleurs, aujourd'hui, le coût des engrais les rend presque inaccessibles aux petits paysans (Gala *et al.*, 2007 ; Useni *et al.*, 2012), alors que les risques de pollution de l'environnement et d'eutrophisation des eaux constituent un danger pour la biodiversité animale et végétale, et menacent la vie des populations humaines. De ce fait, des méthodes alternatives de gestion de la fertilité des sols sont recherchées.

Ainsi, l'application des engrais organiques à travers l'utilisation de compost, de fumier, de fiente et des associations culturales, sont apparues nécessaires (Harmand & Ballé, 2001 ; Akanza & Yoro, 2003 ; Lompo, 2009 ; Konaté, 2014). En effet, ces techniques améliorent les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, et rendent les engrais minéraux plus efficaces à des doses modérées (Jama *et al.*, 2000 ; Mulaji, 2011). Malheureusement, les fortes doses d'application des engrais organiques limitent leur utilisation bien que ces substances constituent une alternative durable aux fertilisants minéraux (Schlecht & Buerkert, 2004 ; Schlecht *et al.*, 2006).

Diverses études font état de certains macro-invertébrés du sol tels que les termites et les vers de terre et la valorisation des résidus agricoles pour améliorer les propriétés des sols (Boga, 2007 ;

Guei *et al.*, 2020). Si les vers de terre sont aujourd'hui valorisés en agriculture avec la production et l'utilisation de vermicomposts, les termites, bien que reconnus comme ingénieurs de l'écosystème, restent encore peu valorisés en production végétale. La non valorisation de ces insectes hautement sociaux réside non seulement dans sa capacité de destruction sur les végétaux, mais aussi et surtout dans son mode de vie communautaire social qui a été fortement étudié. Dans le contexte agricole de la Côte d'Ivoire, la valorisation du termite pourrait être couplée à une gestion intégrée des résidus agricoles dans la production de matière fertilisante et l'amélioration de l'alimentation de la volaille. En effet, en Côte d'Ivoire, les études sur les termites ont plus porté sur l'analyse de leurs communautés dans des habitats naturels ou transformés (Konaté *et al.*, 2003 ; Tra Bi *et al.*, 2012 ; Coulibaly *et al.*, 2013). Akpesse *et al.* (2008) et Coulibaly (2014) ont quant à eux mis l'accent sur les actions nuisibles des termites en agriculture. Hormis les études de Boga *et al.* (2000) qui ont porté sur l'utilisation du sol de termitière dans l'amélioration des productions de riz et de maïs en savane, peu de travaux ont montré l'importance des termites dans la restauration de la fertilité des sols. Garnier-Sillam *et al.* (1991) et Tano (1993) avaient montré que les termites modifiaient profondément la texture du sol et accroissaient la porosité autour des nids et dans les milieux de récolte. Les travaux de Dosso *et al.* (2017) ont mis en évidence la contribution des termites dans la restauration de la fertilité des sols dégradés en examinant leur apport en éléments nutritifs par la décomposition sur place des résidus de quelques espèces végétales. Dans le même ordre d'idée, ceux de Soro *et al.* (2021) ont montré la capacité fertilisante des produits résiduaux issus de la dégradation des résidus de récolte de maïs par les termites dans des pièges. Ces résultats ouvrent une opportunité d'initier l'élaboration par les termites, d'un produit résiduaire gardant les caractéristiques d'une termitière naturelle pour améliorer durablement la productivité des sols. En effet, la collecte de résidus de termites dans un dispositif de piégeage contenant des déchets agricoles pourrait constituer une voie de gestion durable de la fertilité des sols en agriculture. Le principe de ce piégeage consiste à soumettre des résidus biodégradables aux termites dans un réceptacle et à effectuer une collecte à des périodes données. Cette pratique qui valorise les résidus agricoles offre aux termites un ramassis de déchets agricoles (chaumes de maïs, de mil, noyaux de mangue, déjections de bœufs, etc..) émiettés et humectés. La principale question de cette recherche est alors de savoir si le produit résiduaire issu du piégeage de termites gardera au moins les propriétés et la valeur agronomique de la terre de termitière naturelle. Le travail présenté dans ce mémoire se propose de contribuer à l'amélioration de la fertilité du sol en culture du riz pluvial par l'utilisation du produit résiduaire de termitière. Pour atteindre cet objectif général, plusieurs objectifs spécifiques ont été définis. Il s'agit de :

- produire et caractériser le produit résiduaire issu de l'activité de récolte des termites ;
- identifier les termites impliqués dans l'élaboration de ce produit résiduaire ;
- évaluer la capacité fertilisante de ce produit en riziculture pluviale ;
- déterminer l'arrière effet de cet amendement sur les propriétés physico-chimiques du sol.

Ainsi, trois hypothèses de recherche guident la présente recherche :

- la résultante de l'activité des termites est un produit organique et minéral à haute valeur agronomique ;
- un seul genre de termite colonise le même piège ;
- une application au sol du produit résiduaire de la termitière permet de réaliser au moins deux cycles de culture du riz.

Le présent mémoire s'articule autour de trois grandes parties déclinées en sept chapitres. Ainsi, à la suite de l'introduction, la première partie est consacrée aux généralités sur les termites, la fertilité des sols, le riz et présente le cadre de l'étude. La deuxième partie décrit le matériel et les méthodes utilisés. La troisième partie présente et discute les résultats. Enfin, le mémoire se termine par une conclusion générale et des perspectives.

PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS

Chapitre 1 : Termites et fertilité des sols

Chapitre 2 : Généralités sur le riz

Chapitre 3 : Généralités sur le milieu d'étude

Chapitre 1. Termites et fertilité du sol

Introduction partielle

Les termites sont reconnus en tant que «ingénieurs de l'écosystème» du fait de leur capacité à modifier la disponibilité des ressources pour d'autres organismes. La morphologie, l'organisation sociale et la biologie des principaux groupes trophiques des termites sont traitées dans le présent chapitre. Aussi, les actions des termites sur le sol et sur les déchets agricoles ainsi que les aspects de la fertilité des sols et de la fertilisation des cultures sont-ils également exposés dans ce chapitre.

1.1. Généralités sur les termites

1.1.1. Morphologie du termite

Le termite est un organisme à corps peu chitineux, composé d'une tête, d'un thorax et d'un abdomen (Figure 1). La tête, comme celle de tous les insectes, est un tagme constitué de six segments. Elle possède les organes sensoriels (yeux, antennes et palpes maxillaire et labiaux), d'intégration (cerveau, ganglion subœsophagien) et d'ingestion (mandibules, laciniés, hypopharynx et œsophage). Les mandibules sont bien développées chez les soldats de certains groupes et peu développées chez les ouvriers (Grassé, 1986). Chez les termites, la tête est généralement prognathe et la forme de la capsule varie considérablement entre les soldats et les ouvriers. La tête des soldats est généralement de forme rectangulaire (à l'exception des *Nasutermitinae*) alors que celle des ouvriers est arrondie, légèrement elliptique. Le thorax qui porte les pattes, les ailes et les muscles, constitue le tagme de locomotion (Coulibaly, 2014). Il est relié à la tête par le cou, qui est une grande structure membraneuse. Sur la face dorsale, les tergites thoraciques sont constitués par le pronotum, le mesonotum et le metanotum. Les tarsi sont composés de cinq articles chez les *Mastotermitidae* et les *Termopsidae*. Chez les *Kalotermitidae*, les *Termitidae*, les *Hodotermitidae* et les *Rhinotermitidae*, les tarsi sont composés de quatre articles. Les cerques sont présents dans la famille des *Hodotermitidae* et celle des *Termitidae* (Tra Bi, 2013). L'abdomen des termites, comme chez la plupart des insectes adultes, se compose de dix segments. Il contient, non seulement les organes reproducteurs et d'excrétion, mais aussi la majeure partie du système digestif. La face dorsale de l'abdomen est couverte par une série de sclérites (Noirot & Noirot-Timotheé, 1965).



Figure 1 : Vue dorsale de 2 termites de la famille des Termitidae
 A : Ouvrier ; B : Grand soldat de *Pseudacanthotermes militaris* avec 1- tête ; 2- thorax et 3- abdomen.
 (Coulibaly, 2014).

1.1.2. Classification des termites

Selon Myles (2004), les termites appartiennent au règne animal, à l'embranchement des invertébrés et au sous-embranchement des arthropodes. Ils sont issus de la classe des insectes, de la sous-classe des ptérygotes, du super - ordre des blattoptéroïdes. Une classification proposée par Krishna *et al.* (2013), classe le termite dans l'ordre des Isoptères. Environ 3104 espèces (dont 173 espèces fossiles) regroupées en douze familles, huit sous - familles et 334 genres ont été décrites à ce jour (Tableau I). Les Serritermitidae sont représentés en deux genres, répartis en trois espèces, toutes vivantes. La famille des Stolotermitidae comprend treize espèces regroupées en trois genres, dont trois espèces du même genre ont disparu. Les Stylotermitidae comprennent trois genres repartis en 51 espèces dont six sont fossiles. La famille des Termitidae comprend huit sous-familles et 2109 espèces. Bien que 35 espèces de cette famille aient disparu de nos jours, elle demeure la plus riche des familles et renferme 67,84 % des espèces de termites décrites à ce jour.

Tableau I : Nombre de genres et espèces de termites dans chaque famille (Krishna *et al.*, 2013)

Familles	Genres vivants	Genres fossiles (uniquement)	Nbre total genres	Espèces vivantes	Espèces fossiles	Nbre Total d'espèces
†Archeorhinotermitidae	0	1	1	0	1	1
Archotermopsidae	3	1	4	6	4	10
†Cratomastotermitidae	0	1	1	0	1	1
Hodotermitidae	3	0	3	21	0	21
Kalotermitidae	21	8	29	456	33	489
Mastotermitidae	1	7	8	1	25	26
Rhinotermitidae	12	1	13	315	19	334
Serritermitidae	2	0	2	3	0	3
Stolotermitidae	2	1	3	10	3	13
Stylotermitidae	1	2	3	45	6	51
Termitidae	237	1	238	2074	35	2109
Apicotermitinae	42	0	42	202	8	210
Cubitermitinae	26	0	26	156	0	156
Foraminitermitinae	3	0	3	10	0	10
Macrotermitinae	12	0	12	373	2	375
Nasutitermitinae	77	0	77	596	18	614
Sphaerotermitinae	1	0	1	1	0	1
Syntermitinae	15	0	15	99	0	99
Termitinae	61	1	62	637	7	644
†Termopsidae	0	1	1	0	5	5
Non classé	0	28	28	0	41	41
TOTAL	282	52	334	2931	173	3104

†= uniquement fossile

1.1.3. Organisation sociale des termites

Les termites vivent en société où différents groupes, appelés castes se distinguent les uns des autres aussi bien du point de vue morphologique que comportemental. La formation de castes, qui se traduit par une répartition du travail, est typique de toutes les sociétés de termites. Il y a la caste des ouvriers, celle des soldats, et enfin le couple sexué qui fonde la colonie. Les ouvriers sont aptères et aveugles (Noirot & Alliot, 1947). Ils interviennent dans la collecte de la nourriture, la construction du nid et dans l'alimentation de leurs congénères, par trophallaxie. Ils sont dotés de pièces buccales, en particulier les mandibules robustes, de type broyeur (Sane, 2016).

Les soldats, peu abondants (de 1 à 10 % en moyenne) au sein d'une colonie, sont aveugles (Noirot & Alliot, 1947). Ils sont responsables de la défense du nid et de la colonie, grâce à leurs mandibules hypertrophiées (Eggleton, 2006). Les soldats sont caractérisés d'une part, par la présence de puissantes mandibules servant de défenses et d'autre part, par les sécrétions des glandes frontales et salivaires (Deligne *et al.*, 1981). Chez certaines espèces telles que les

représentants du genre *Nasutitermes*, au contraire, les pièces buccales se réduisent, la tête s'allonge au point de devenir piriforme, et se prolonge en avant par un rostre conique, perforé, d'où sort, au gré de l'insecte, un liquide visqueux (Deligne *et al.*, 1981). Il y a quatre catégories de soldats à mandibules bien développées : les mordants (*Glyptotermes*), les faucheurs (*Basidentitermes*), les frappeurs asymétriques (*Pericapritermes*) et les frappeurs symétriques (*Termes*) (Deligne, 1971). Les soldats à sécrétion frontale peuvent être répartis en deux groupes : les soldats à sécrétion frontale à mandibules développées (*Coptotermes*) et ceux à sécrétion salivaire à mandibules régressées (*Nasutitermes*).

Les sexués, encore appelés reproducteurs primaires, sont constitués du roi et de la reine. Ce sont les fondateurs de la colonie qui en assurent la pérennité. Il n'y a, en général, qu'un couple royal par colonie. Les ailés sortent du nid à une période déterminée pour chaque espèce. Une fois à l'air libre, ils forment des couples qui s'isolent (Noirot & Alliot, 1947). En cas de mortalité de la reine, elle peut être remplacée par des néoténiques dits sexués de remplacement. Après avoir perdu leurs ailes, les femelles acquièrent progressivement un abdomen volumineux qui les rend presque immobiles. Selon Konaté (1998), la femelle après accouplement et fécondation pond chaque jour un nombre important d'œufs ($0,5 \text{ œuf.s}^{-1}$ pour *Odontotermes*).

1.1.4. Biologie des principaux groupes trophiques de termites

Le régime alimentaire des termites est à base de cellulose contenue dans la matière organique (Wood & Lee, 1971 ; Grassé, 1986). Le stade d'ingestion de la matière organique varie selon l'espèce. Certaines consomment les végétaux sains, d'autres, le bois altéré, la litière ou l'humus. Ils assimilent la cellulose qui leur sert de principale source d'énergie. Le processus d'ingestion de la nourriture est très varié et fonction du groupe trophique. En fonction donc de leur alimentation, les termites peuvent être divisés en quatre groupes trophiques : les champignonnistes, les xylophages, les fourrageurs et les humivores (Brauman *et al.*, 2015).

1.1.4.1. Termites champignonnistes

Ils regroupent les espèces présentant une exosymbiose avec un champignon supérieur du genre *Termitomyces* pour la décomposition de la cellulose (Rouland-Lefevre, 2000). Leur nourriture est essentiellement constituée de litière, de bois morts et de feuilles mortes. Une fois ramenée au nid, les ouvriers l'ingèrent. L'aliment subit un premier transit court dans l'intestin. Le termite dépose ensuite la nourriture prédigérée sous forme de boulettes fécales formant une meule sur laquelle se développera le champignon *Termitomyces* (Wood & Lee, 1971 ; Grassé, 1982). Cette meule servira d'aliment pour la colonie (Rouland-Lefevre, 2000). Les espèces

Ancistrotermes cavithorax et *Microtermes toumodiensis* ont une préférence pour la litière d'origine arbustive. En revanche, l'espèce *Odontotermes sp.* préfère la litière graminéenne d'origine épigée. L'espèce *Pseudacanthotermes militaris* a le régime le plus diversifié, car elle consomme la litière d'origine arbustive ou graminéenne ou même des végétaux vivants (Josens, 1972). D'autres espèces recouvrent leur source de nourriture (feuilles, morceaux de bois) de fines lames d'argile. Cette technique de récolte protège les individus de la dessiccation à laquelle ils sont très sensibles et, dans une certaine mesure, de leurs prédateurs.

Les termites champignonnistes du genre *Macrotermes* sont les constructeurs de grands édifices en cathédrale pour certaines espèces (Grassé & Noirot, 1958). Les matériaux de construction de ces édifices sont à dominance argileux (Boyer, 1971 ; Tano, 1993). Les ouvriers remontent les éléments fins en surface pour édifier les murailles. Ils se servent de leur salive pour cimenter les différentes particules prélevées.

1.1.4.2. Termites xylophages

Les termites xylophages se nourrissent de bois à différents stades de décomposition, et sont capables de dégrader la cellulose, l'hémicellulose, de même que les composés aromatiques complexes tels que les tanins ou la lignine (Eggleton & Tayasu, 2001). Les termites inférieurs xylophages digèrent la cellulose grâce aux zooflagellés, alors que chez les termites supérieurs xylophages, la digestion de la lignine, de la cellulose et de l'hémicellulose s'effectue en symbiose avec les bactéries de leur tube digestif (Grassé, 1982). Ces termites sont dotés d'enzymes spécifiques (osidases) qui leur permettent de dégrader les composés complexes des végétaux (lignine, cellulose et hémicellulose). Selon les travaux de Chararas *et al.* (1984), rapportés par Grassé (1986), la panse du termite *Kalotermes flavicollis* est extrêmement riche en osidases. A côté de ces enzymes hydrolysant les oligosaccharides (α et β glucosidases, maltases, cellobiases), ces auteurs ont décelé l'existence de nombreuses polysaccharidases qui découpent les molécules de cellulose et d'hémicellulose, offrant aux termites la possibilité d'utiliser les produits d'hydrolyse des substances complexes comme source de carbone et d'énergie. Ces termites établissent leurs nids dans les troncs d'arbres vivants ou morts.

1.1.4.3. Termites fourrageurs

Les fourrageurs se rencontrent dans les sous - familles des nasutitermitinae, des termitinae et des macrotermitinae appartenant aux familles des hodotermitidae et des termitidae. Ils se nourrissent essentiellement de Poaceae. Le matériel végétal est consommé sans dégradation préalable par les micro-organismes. Ils jouent ainsi, un rôle important dans la fixation de l'azote

(Breznak, 2000). Cependant, leur rôle écologique est peu important dans les savanes, car ils interviennent très peu dans les processus de fonctionnement des écosystèmes des milieux ouverts. Ce groupe est caractérisé par le genre *Trinervitermes* dont cinq espèces (*T. geminatus*, *T. oeconomus*, *T. occidentalis*, *T. togoensis* et *T. trinervius*) sont présentes en Côte d'Ivoire (Tano *et al.*, 2005).

Les termites du genre *Trinervitermes* prélèvent leur matériau de construction en exploitant la couche superficielle du sol. Leurs nids sont de différentes tailles selon l'espèce qui les construit (Josens, 1972 & 1974).

1.1.4.4. Termites humivores

Dans la zone intertropicale, les termites humivores sont présents en densité variable dans la plupart des milieux. On les trouve dans les savanes sèches ou humides, les forêts galeries et les grandes forêts, mais ils sont surtout abondants en forêt hygrophile.

Les termites humivores ont un régime alimentaire très complexe. Ils s'alimentent à partir de particules organiques en décomposition dans la fraction humique des sols et joueraient le même rôle que les vers de terre géophages (Josens, 1974 ; Lavelle, 1997). Toutefois, la qualité de la matière organique consommée par les humivores demeure un mystère. En effet, il a été montré que certains sols, bien que riches en matière organique, n'étaient pas favorables à l'établissement des termites humivores (Yapi, 2010). Chez eux, certains genres tels que, les *Cubitermes* ne sont pas dotés d'un dispositif enzymatique qui leur permette de digérer directement les composés des végétaux. Ils consomment les produits issus de la dégradation des végétaux par l'intermédiaire des bactéries filamenteuses que sont les *Streptomyces* et les *Nocardia* (Brune, 2011). Les Apicotermatinae (termites sans soldats) consomment parfois du bois en décomposition (Grassé, 1982). Ils sont très abondants dans les galeries forestières des savanes où ils peuvent représenter jusqu'à 73 % de la population des termites (Tano, 1993).

Les termites humivores bâtissent des nids épigés ou hypogés. Les matériaux utilisés sont prélevés dans les horizons humiques supérieurs du sol. Ils transitent par le tube digestif du termite avant d'être incorporés au nid (Yapi *et al.*, 2001). Les particules granulaires de différentes tailles, qui ne peuvent traverser le canal œsophagien du termite, sont prélevées par les ouvriers selon l'ouverture de leurs mandibules et incorporées au nid en se servant des déjections comme ciment.

1.1.5. Rôle des termites

Les termites jouent un rôle important dans la fertilité des sols tropicaux car ils ont des effets sur la matière organique du sol (Mora *et al.*, 2005 ; Dosso *et al.*, 2017). Incorporés aux déjections du termite, les composés insolubles contenus dans les déjections des termites se fixent aux colloïdes et aux minéraux du sol pour former de l'humus améliorant la fertilité du sol (Rouland-Lefèvre & Bignell, 2001). Les termites sont les arthropodes décomposeurs les plus dominants et ont un extraordinaire impact écologique sur les agrosystèmes et non agricoles en jouant un rôle significatif dans le cycle global du carbone, dans le processus de décomposition et de minéralisation des matières organiques riches en cellulose (Traoré *et al.*, 2015).

C'est la capacité des termites à décomposer les matières organiques d'origines diverses qui est exploitée par les éleveurs pour les collecter en semi-captivité pour l'alimentation de la volaille. Par ailleurs, ils sont aussi utilisés dans l'alimentation humaine, en agriculture (Figure 2), en médecine et dans la prospection de l'or (Siame, 2005 ; Adamou *et al.*, 2007 ; AFROL News, 2008 ; Van Huis, 2017).



Figure 2 : Collecte de termites dans des pièges au nord de la Côte d'Ivoire pour l'alimentation de la volaille. Photos prises au nord de la Côte d'Ivoire (Korhogo) en décembre 2018.

A : Matériel de production (bidon servant de réceptacle et résidus agricoles émiétés) ; B : Préparation du piège ; C : Pose du piège ; D : Poulets se nourrissant de termites récoltés (Photos prises par Soro).

1.1.6. Dégâts occasionnés par les termites

Malgré les bénéfices écologiques, nutritionnels et économiques des termites, ces insectes causent souvent de grandes pertes aux humains en endommageant toute chose qui contient de la cellulose, comme les livres, les stocks de bois, les structures en bois, les bâtiments, les cultures, les arbres et les forêts (Ravan *et al.*, 2015). Presque toutes les cultures telles que la canne à sucre, le coton, le tabac, les céréales, le maraîcher, les fruits, les légumes, les oléagineux et les plantes ornementales sont affectées par les termites (Rathour *et al.*, 2014 ; Lin *et al.*, 2015). Les pertes agricoles causées par les termites coûtent à l'économie mondiale plus de 40 milliards de dollars US (Rust & Su, 2012 ; Subekti *et al.*, 2015). Ils endommagent les cultures directement en se nourrissant des écorces et des tissus sous-jacents et indirectement en rendant les plantes endommagées sensibles aux agents pathogéniques, conduisant à la mort de la plante (Paul *et al.*, 2018). Les dégâts des termites commencent généralement par les racines et se propagent ensuite à toute la plante (Farhan *et al.*, 2021).

1.1.7. Synthèse des recherches sur les termites en Côte d'Ivoire

Les premières études réalisées en Côte d'Ivoire sur la répartition des termites tropicaux dans leur milieu naturel et leurs conditions écologiques sont celles de Bodot (1967). Par la suite, les travaux de Kouassi (1987), Yapi (1991) et Tano (1993) ont été conduits dans la plupart des zones agroécologiques du pays. Plusieurs techniques ont été utilisées dans ces études : fouilles systématiques du sol, de la litière, des souches et des troncs d'arbres morts, carrés de fouilles, transects, monolithes, tarière (Josens, 1972 ; Anderson & Ingram, 1989).

Les principaux axes de recherche sur les termites ont concerné l'écologie, la biologie et la systématique. Ainsi, les inventaires, la répartition et les densités, la dynamique des populations ont été aussi abordés par Sangaré & Bodot (1980) ; Tano (1993). Le peuplement des termites des savanes des zones d'étude apparaît très riche et diversifié. Tano (1993) a, dans le bassin versant de Booro-Borotou (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire) récolté 42 espèces, regroupées en 2 familles, 6 sous-familles et 24 genres. Antérieurement, Josens (1972) avait récolté 54 espèces regroupées en 34 genres dans la savane pré-forestière de Lamto. Comparée aux autres savanes africaines, la diversité des espèces rencontrées placerait ces savanes de Côte d'Ivoire parmi les plus riches d'Afrique.

La prédominance des termites humivores et champignonnistes, en termes de densité et de biomasse dans les peuplements de termites hypogés a été aussi prouvée (Yapi, 2001 ; Kouassi, 1999). Les travaux de Tano *et al.* (2005) ont qualifié certains groupes de termites comme étant

des ingénieurs de l'écosystème alors que d'autres ont fourni des données sur l'impact des termites dans les milieux anthropisés (Kouassi 1999 ; Konaté *et al.*, 2005 ; Dosso *et al.*, 2012).

Très récemment, les termites ont été étudiés comme agents fertilisants des sols par Boga (2007), Dosso *et al.* (2017), Soro *et al.* (2021) et comme ravageurs sur le riz, le maïs, l'hévéa, le cacaoyer et le manguier (Tahiri & Mangué, 2007 ; Akpessé *et al.*, 2008 ; Tra Bi, 2013 ; Coulibaly, 2014). Par ailleurs, Niaba *et al.* (2011) ont aussi montré que la farine du termite ailé *Macrotermes subhyalinus* est un aliment d'une grande valeur nutritive, permettant de présager son utilisation dans les domaines alimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques.

1.2. Action des termites sur le sol

1.2.1. Actions sur les propriétés physiques

Les termites exercent plusieurs effets sur les propriétés physiques du sol (Mora *et al.*, 2005 ; Dosso & Koné., 2016). Ces effets sont principalement exercés à travers leurs activités de fouisseurs et de constructeurs (Duboisset, 2003). Au cours de ces activités, ils creusent de nombreuses galeries souterraines, qui facilitent l'infiltration de l'eau et la circulation de l'air et des minéraux dans le sol (Jouquet *et al.*, 2011 ; Dosso & Koné, 2016 ; Govorushko, 2019). Les termites sont ainsi, les principaux bioturbateurs. Ils créent des structures biogéniques dont les galeries (Figure 3), les termitières, les chambres à meules et influencent fortement les propriétés physiques et chimiques des sols (Kaschuk *et al.*, 2006 ; Jouquet *et al.*, 2007).

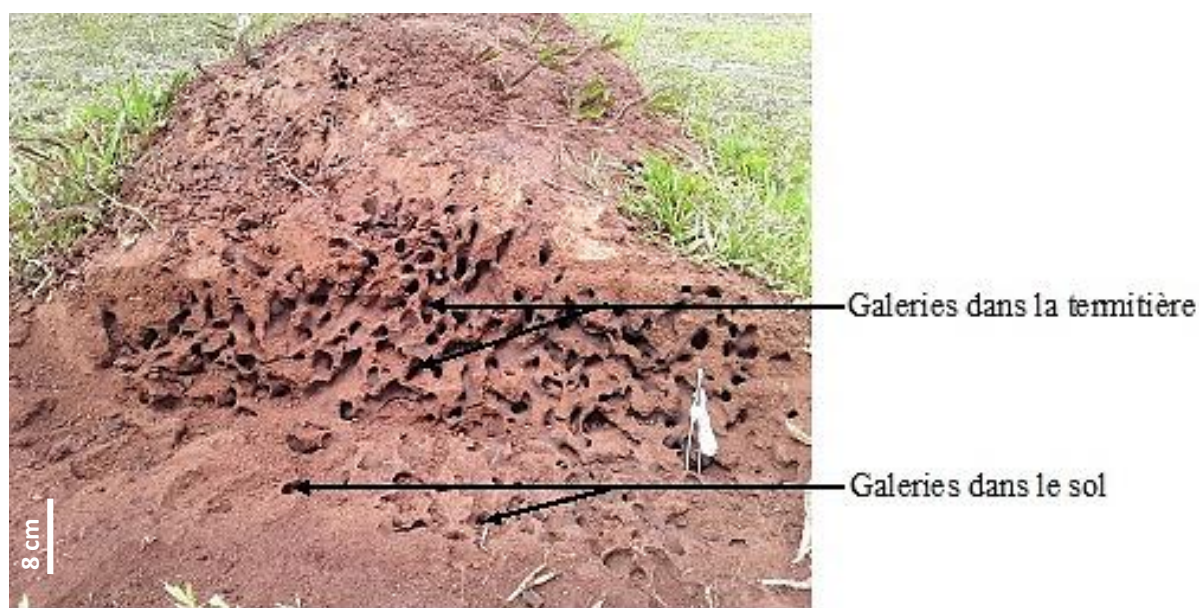


Figure 3 : Termitière de *Trinervitermes sp* au Lycée Moderne 5 dans la ville de Daloa (Côte d'Ivoire)

En ingérant des particules de terre, les termites contribuent à la formation d'agrégats par le mélange des matières organiques et minérales dans leur tube digestif. Les sécrétions intestinales et les colloïdes bactériens du tube digestif jouent le rôle de ciment pour la formation d'agrégats, participant ainsi à l'amélioration et à la stabilisation de l'organisation structurale du sol. En modifiant l'agrégation et la porosité du sol, ces organismes participent à l'infiltration et au stockage de l'eau dans les sols, à la régulation du ruissellement de l'eau et au stockage du carbone (Lavelle & Spain, 2001).

1.2.2. Actions sur les propriétés chimiques

Les termites influencent les caractéristiques chimiques des sols. Ils constituent en eux-mêmes une réserve importante d'éléments qui redevient mobilisable à leur mort. Par la remontée de matériaux profonds, les termites peuvent également augmenter le potentiel chimique des sols. Leur activité augmente la teneur en matière organique dans les sols et modifie également la composition minérale de l'argile du sol (Jouquet *et al.*, 2002a ; Roose-Amsaleg *et al.*, 2004). Par la décomposition de la matière organique, les termites enrichissent le sol en éléments nutritifs (Roisin & Leponce, 2004 ; Freymann *et al.*, 2008 ; Jouquet *et al.*, 2011 ; Dosso *et al.*, 2017). Dans le sol, les termites peuvent créer un réseau de galeries qui favorise les mouvements d'eau sous la termitière. L'eau emprisonnée s'évapore par capillarité en saison sèche ; les éléments en suspension précipitent et enrichissent le sol sous la termitière et le sol environnant en éléments minéraux (Boyer, 1971).

1.2.3. Actions sur les propriétés biologiques

L'activité biologique d'un sol est le résultat des interactions entre différents organismes dans le sol. Les termites sont reconnus comme des ingénieurs de l'écosystème du fait de leur capacité à modifier la disponibilité des ressources pour d'autres organismes et à favoriser la transformation du sol par la perturbation des processus (Dangerfield *et al.*, 1998 ; Konaté, 1998 ; Rajeev & Sanjeev, 2011). Les galeries créées par les termites permettent également la création d'habitat et de réseaux de migration pour toute une partie de la pédofaune (Gobat *et al.*, 2003). Par leurs actions, les termites modifient profondément l'environnement immédiat en augmentant la teneur en particules fines et en matière organique, ce qui stimule l'activité microbiologique du sol (Jouquet *et al.*, 2002b).

1.3. Fertilité des sols et fertilisation des cultures

1.3.1. Fertilité des sols

Pour Sebillotte (1993), la difficulté à définir la fertilité des sols provient de ce que la fertilité est un potentiel qui s'exprime sous certaines conditions, mais n'est jamais vraiment mesurable présentement. Il n'y a pas de fertilité en soi mais en référence, pour un milieu, aux systèmes de culture pratiqués. La qualité du sol tient de sa capacité à fonctionner, dans le cadre des limites de son agroécosystème, en supportant la production biologique, en maintenant la qualité environnementale, et en favorisant la santé humaine et animale (Doran & Parkin, 1994). La fertilité d'un sol fait classiquement référence à une aptitude à produire de la biomasse végétale (Zingore *et al.*, 2007 ; Genot *et al.*, 2009). Un sol fertile est donc un sol qui peut permettre, pour une culture donnée, une production suffisante relativement aux techniques culturales utilisées et au climat de la zone (Lacharme, 2001).

En général, la fertilité d'un sol est fonction de différents facteurs physiques, chimiques et biologiques (Chérif *et al.*, 2009). Selon Merelle (1998), ces trois facteurs sont interdépendants. Ainsi, la fertilité physique détermine les conditions de germination des semences, de colonisation efficace des racines, d'aération et d'économie en eau et ce, à travers une structure meuble, perméable et aérée du sol. La fertilité chimique a trait à la nutrition minérale des végétaux via les concepts de biodisponibilité des éléments, de carences, de toxicités et d'équilibres alors que la fertilité biologique est liée à l'activité biologique dont dépendent les transferts des nutriments du sol à la plante et la minéralisation des matières organiques apportées.

1.3.2. Fertilisation des cultures

La fertilisation est un ensemble de techniques qui consiste à apporter au sol des substances minérales ou organiques destinées à augmenter ou à maintenir un bon niveau de fertilité en vue d'améliorer le rendement d'une plante (Zian, 2002). De ce point de vue, l'objectif de la fertilisation est de satisfaire les besoins nutritionnels des plantes, par un complément à l'offre du sol en éléments minéraux, dans des conditions économiquement rentables et respectueuses de l'environnement (COMIFER, 1995). Toutefois, cet objectif doit intégrer le renouvellement des minéraux et l'entretien ou l'amélioration des propriétés physiques du sol.

1.3.2.1. Bases de la fertilisation des cultures

Pour accomplir leur cycle de vie, les plantes ont besoin d'eau, d'éléments nutritifs qu'elles trouvent sous forme minérale dans le sol, de dioxyde de carbone (CO₂) apporté par l'air, et d'énergie solaire nécessaire à la synthèse chlorophyllienne. Ainsi, la fertilisation des cultures repose sur trois principes fondamentaux encore appelés lois de la fertilisation (Elalaoui, 2007). Aussi, toutes les techniques de fertilisation répondent-elles, au moins, à un de ces principes qui sont :

- la loi de Liebig ou loi du facteur limitant ;
- la loi de Mitscherlich ou loi des suppléments de rendements moins que proportionnels ;
- la loi de Boussingault et Deherain ou loi des restitutions ou des avances.

❖ La loi du minimum ou loi de Liebig

L'importance du rendement d'une récolte est déterminée par l'élément qui se trouve en plus faible quantité relativement aux besoins d'une récolte. En effet, l'insuffisance d'un élément assimilable dans le sol réduit l'efficacité des autres éléments du fait d'interactions, et par suite, diminue le rendement des récoltes.

❖ La loi des suppléments de rendements moins que proportionnels

Quand des doses croissantes d'engrais sont apportées au sol, les augmentations de rendement sont de plus en plus faibles au fur et à mesure que les quantités apportées augmentent. L'augmentation des doses d'engrais a une limite. L'excès d'un élément assimilable dans le sol réduit l'efficacité des autres éléments, et par suite diminue le rendement des récoltes.

❖ La loi des restitutions ou des avances

Le sol perd des éléments minéraux qui sont prélevés par les plantes et exportés dans les récoltes du fait de la mauvaise gestion des résidus de récoltes et des feux de brousse à répétition. Ces éléments minéraux peuvent aussi être perdus par érosion, par lessivage ou être retenus à plus ou moins long terme. Il est indispensable de restituer au sol, pour qu'il ne s'épuise pas, tout ou une partie des éléments fertilisants que lui enlèvent les récoltes.

1.3.2.2. Engrais

L'homme a inventé la fertilisation pour assurer la pérennité de son alimentation depuis le néolithique. Au XIX^e siècle, l'unique moyen de fertilisation, hormis l'assolement était le fumier de ferme procuré par les animaux domestiques (Scorraïlle, 1986). Les premières productions industrielles d'engrais se furent au début du XX^e siècle. Actuellement, il existe plusieurs types d'engrais que sont les engrais simples azotés (ammonitrates, urée), les engrais simples phosphatés (scories Thomas, superphosphates, phosphates naturels), les engrais simples

potassiques (chlorure de potassium, sulfate de potassium) et les engrais composés (binaires PK, NP, ternaire NPK). Le développement de la fertilisation a été un des éléments clés de la révolution agricole. L'utilisation des engrais en agriculture a eu pour conséquence une augmentation significative des rendements agricoles et de la production (Scorraïlle, 1986). Le succès de la création variétale est en partie dû à l'usage de quantités énormes d'engrais de synthèse. Cependant, le mauvais usage des engrais chimiques est source de nombreuses nuisances aux sols, aux cultures et aux consommateurs.

1.3.2.3. Types de fertilisation

1.3.2.3.1. Fertilisation minérale

La fertilisation minérale consiste à utiliser des matières fertilisantes d'origine minérale pour enrichir le sol en éléments minéraux directement assimilables par les plantes (Soltner, 2003). Ces substances d'origine minérale sont produites soit par l'industrie chimique, soit par l'exploitation de gisements naturels comme le phosphate et la potasse (Elalaoui, 2007). Il y a les engrais simples, ne contenant qu'un seul élément nutritif et les engrais composés qui peuvent en contenir deux et plus. Les engrais simples peuvent être azotés, phosphatés ou potassiques. L'appellation des engrais minéraux est normalisée, en référence aux trois principaux éléments minéraux N P K les composant. Les proportions x, y et z d'éléments N (Azote), P₂O₅ (Phosphore) et K₂O (Potassium) contenue dans 100 kg d'engrais définissent la formule NPK de cet engrais. La connaissance de cette formule, des besoins de la culture et de l'objectif de rendement permet de calculer les doses d'engrais applicables en champ. Toutefois, la fertilisation chimique peut entraîner des dégradations du sol dont les plus répandues sont l'acidification, une augmentation de la teneur en sels solubles (salinité) et une diminution de la teneur en matière organique (Ouédraogo *et al.*, 2008a). A des valeurs de pH faibles, une bonne partie de la matière organique reste inactive car dans ces conditions, l'activité microbienne se trouve fortement limitée (Kemmit *et al.*, 2006). Ainsi, l'acidité affecte la plupart des paramètres du sol dont la disponibilité et l'assimilation des éléments minéraux par les plantes.

1.3.2.3.2. Fertilisation organique

La fertilisation organique désigne l'ensemble des techniques qui consistent à apporter des engrais sous forme organique au sol en vue d'améliorer la productivité du sol et des cultures (El Hassani & Persoons, 1994). Les fertilisants organiques sont des sous-produits d'animaux, de végétaux ou d'un mélange des deux qui améliorent les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. Ils peuvent être sous diverses formes : engrais vert, compost ou fumier.

Les sous-produits d'élevage sont une source valorisable pour fertiliser les sols (FAO, 1988). Le fumier améliore la fertilité du sol en agissant sur ses propriétés physico-chimiques et biologiques (N'Dayegamiye & Côté, 1996). Ces produits contiennent des macronutriments et des micronutriments permettant la croissance des plantes mais aussi l'amélioration de la structure du sol (Albaladejo *et al.*, 2000 ; Bresson *et al.*, 2001). Ils améliorent également la rétention de l'eau nécessaire au développement des plantes et des microorganismes dans le sol (Albaladejo *et al.*, 2000). Aussi, le fumier permet-il de lutter contre les phénomènes de ruissellement et d'érosion des sols par son action sur la structure. La qualité minérale du fumier dépend de l'espèce animale, de son alimentation et des modalités de stockage des déchets (El Hassani & Persoons, 1994).

L'utilisation du compost permet une amélioration de la qualité physique et chimique du sol. Il a en outre, des effets bénéfiques sur la faune du sol (Subler *et al.*, 1998 ; Carpenter *et al.*, 2000). C'est une substance organique contenant, des éléments fertilisants permettant le bon développement de la plante et, des substances inhibant l'action des pathogènes responsables de maladies (Alvarez *et al.*, 1995 ; Perner *et al.*, 2006). L'efficacité des composts issus des sous-produits d'élevage sur la qualité des sols, le développement et la productivité des plantes a été largement démontrée (Hoitink, 2000 ; Cambardella *et al.*, 2003 ; Cooperband *et al.*, 2003).

1.3.2.3.3. Fertilisation organominérale

La fertilisation organominérale est l'application des amendements organiques et d'engrais minéraux au sol en vue d'améliorer la productivité des sols et des cultures. Les engrais minéraux sont une source d'éléments nutritifs utilisables immédiatement par la plante pour son alimentation et quand ils sont associés aux matières organiques comme le compost qui joue un rôle amendant, l'assimilation des éléments nutritifs apportés par les engrais minéraux est encore plus efficiente (Hien, 2004 ; Dutordoir, 2006 ; Eftimladou *et al.*, 2010 ; Somda *et al.*, 2017).

L'action bénéfique des fumures organominérales dans l'amélioration du statut organominéral du sol et de son interaction probable avec les propriétés physiques du sol dont la densité apparente, la porosité et l'état hydrique a été révélée par Hien (2004). Cet auteur a par ailleurs montré que l'apport de matières organiques sous forme de fumier, de composts ou de pailles en association avec de l'engrais minéral, permettait un accroissement de la productivité et la stabilité interannuelle des rendements. Des résultats similaires ont été obtenus par Zeinabou *et al.* (2014) qui ont noté que la fertilisation par des engrais minéraux en association avec la fumure organique améliore la production de façon substantielle tout en assurant une meilleure protection des sols contre la baisse de la fertilité chimique.

1.3.2.4. Amendements

Les amendements sont des produits de nature minérale ou organique apportés au sol pour en modifier les caractéristiques physico-chimiques, c'est-à-dire essentiellement la structure et le pH (Charonnat & Deblay, 2005). Ainsi, se définissent deux types d'amendements : les amendements organiques et les amendements minéraux.

1.3.2.4.1. Amendements organiques

Il s'agit de matière fertilisante composée principalement de combinaisons carbonées d'origine végétale ou animale, fermentées ou fermentescibles qui entretiennent ou reconstituent l'humus, donc, le stock de matière organique du sol (Fabre & Kockmann, 2006). Les nombreux déchets agricoles issus des cultures de rente, du vivrier ou de cultures maraîchères en constituent des sources importantes dans les champs. Le principal avantage des amendements organiques est qu'ils sont riches en fractions de carbone labile, source d'énergie pour les microorganismes. Cependant, dans les systèmes de cultures traditionnelles d'Afrique de l'Ouest, environ 50 % de ces résidus de récolte sont consommés par les animaux pendant la saison sèche (Bado, 2002). Parallèlement, les feux de brousse qui, même s'ils contribuent à mettre à disposition rapidement des éléments minéraux tels que N, P, K, Ca et Mg contenus dans les cendres, sont aussi un facteur de destruction de ces restes abandonnés dans les champs. La période de ces feux favorise la perte des cendres par les vents avant la mise en culture de la saison suivante. Ces résidus de récolte, les composts, les fumiers de ferme, les jachères naturelles sont des sources de matière organique de qualités différentes. En effet, chaque type d'amendement organique influence, selon sa nature, la fourniture d'azote et les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol (Bado, 2002 ; Bationo *et al.*, 2006).

1.3.2.4.2. Amendements minéraux

Il existe deux catégories d'amendements minéraux : les amendements calciques et/ou magnésiens et les amendements engrais. Les amendements engrais sont des produits qui, en plus de leur action neutralisante, fournissent aux cultures au moins un autre élément que le calcium ou le magnésium (Charonnat & Deblay, 2005). Les amendements calciques et/ou magnésiens, les plus utilisés, apportent au sol du calcium et/ou du magnésium qui améliorent les propriétés des sols et régularisent le pH. Le calcium de l'amendement est associé à des ions hydroxydes OH^- ou bicarbonates HCO_3^- qui ont une action neutralisante sur les ions hydronium H_3O^+ de la solution du sol (Fabre & Kockmann, 2006). Les amendements calciques relèvent le pH, les concentrations en Ca échangeable en solution, la capacité d'échange cationique (CEC)

et le taux de saturation (Bakker, 1998). Toutefois, l'amendement peut influencer positivement ou négativement certaines communautés floristiques ou faunistiques (Person *et al.*, 1995). L'amendement stimule les processus biologiques, favorisant ainsi, la disponibilité en nutriments pour les cultures (Bakker, 1998). Les amendements, par leur effet stimulant sur la disponibilité en cations basiques peuvent stimuler la croissance des cultures, bien que cet effet positif ne soit pas systématique (Wilmot *et al.*, 1996).

1.3.3. Produits résiduaire recyclés en agriculture

Les produits résiduaire organique (PRO) font référence à toutes les matières résiduaire organique pouvant être épandues en agriculture à l'état brut ou traité. Ils peuvent être d'origine agricole, tels que les bouses de vache, les fientes de volailles, les fumiers, ou d'origine urbaine telles que les boues de station d'épuration, la fraction organique des déchets ménagers. Ils peuvent être d'origine industrielle, tels que les déchets d'abattoir et la vinasse de canne à sucre. Les produits résiduaire organique incluent également les produits issus de la transformation ou du mélange de ces déchets, tels que les composts, ou les digestats de méthanisation (Ouédraogo *et al.*, 2008b ; Zodomé, 2012 ; Fernandes *et al.*, 2019).

Les apports de PRO contribuent à l'amélioration de la stabilité structurale des sols (Abiven *et al.*, 2009), les propriétés de rétention en eau ainsi que l'eau disponible pour les plantes (Khaleel *et al.*, 1981 ; Foley & Cooperband, 2002). Ils augmentent la biomasse microbienne du sol et les activités associées en raison de l'apport de composés carbonés facilement métabolisables (Garcia-Gil *et al.*, 2000 ; Kallenbach & Grandy, 2011). La matière organique provenant de ces produits résiduaire organique nourrit et abrite un grand nombre d'organismes utiles du sol tels que les vers de terre et les microorganismes, qui œuvrent continuellement à l'amélioration de la fertilité du sol (Ouédraogo *et al.*, 2008b).

La valeur fertilisante azotée traduit la capacité d'un PRO à participer à la nutrition azotée d'une culture. La valeur amendante des PRO est définie comme leur capacité à entretenir les stocks de MO dans les sols. Elle dépend de la vitesse de dégradation du carbone organique après leur épandage.

Les caractéristiques des PRO vont conditionner leur valeur agronomique. Leurs effets fertilisants seront liés d'abord à leur teneur en éléments fertilisants (N, P, K, ...) et à la mise à disposition de ces éléments fertilisants aux plantes. La dynamique de minéralisation de la MO des PRO définit leur valeur amendante. Ainsi, les PRO qui se dégradent lentement dans le sol auront des valeurs amendantes plus intéressantes que ceux qui se dégradent rapidement (Ahmed, 2014). Les plantes utilisent essentiellement des formes minérales d'azote, en

particulier l'azote nitrique. Or dans le sol et dans les PRO, l'azote est sous forme organique. La minéralisation de ces formes organiques en azote ammoniacal puis nitrification est alors essentielle pour son assimilation par les plantes.

1.3.4. Recyclage des déchets agricoles par les termites

Les termites jouent un important rôle dans la décomposition organique, en consommant tous les matériaux en bois et les restes de plantes qui meurent (Mugerwa, 2015 ; Qasim *et al.*, 2015). Selon Verma *et al.* (2009), en milieu tropical et subtropical, ils contribuent à décomposer et à recycler un tiers des quantités annuelles de bois mort. Anderson & Swift (1983) ont noté que le bois, qui est une ressource relativement intraitable dans un site, peut se décomposer rapidement à cause des activités des termites. Ces arthropodes contribuent à la consommation et à la minéralisation d'une partie importante de la litière (Bignell & Eggleton, 2000 ; Freymann *et al.*, 2010 ; Yamada *et al.*, 2005). Les termites peuvent hacher mécaniquement la matière végétale avec leurs mandibules et la broyer avec leur gésier, augmentant ainsi la surface accessible aux microorganismes du sol, ainsi qu'à leurs propres symbiotes intestinaux et accélérant la décomposition nette par les agents protistes, bactériens et fongiques (Jouquet *et al.*, 2011).

Conclusion partielle

Les termites se nourrissent de toute substance riche en cellulose. Ce régime alimentaire diversifié leur a permis de coloniser plusieurs niches écologiques. Ils participent à l'amélioration des propriétés physiques et chimiques des sols. En plus, leur activité accroît la teneur en matière organique dans le sol qu'ils utilisent pour la construction de leur nid. Les termites construisent aussi de vastes réseaux de galeries qui augmentent la porosité du sol et l'infiltration de l'eau dans le sol.

La fertilisation des cultures repose sur trois principes fondamentaux encore appelés lois de la fertilisation que sont la loi du facteur limitant, la loi des suppléments de rendements moins que proportionnels et la loi des restitutions ou des avances. La fertilité d'un sol est fonction de différents facteurs interdépendants que sont les facteurs physiques, chimiques et biologiques.

Chapitre 2 : Généralités sur le riz

Introduction partielle

Le riz est l'une des denrées essentielles de l'alimentation mondiale. L'origine, la botanique du riz et les conditions optimales de sa culture sont traitées dans le présent chapitre. Aussi, les aspects marquants la riziculture ivoirienne, l'état des lieux de la fertilisation en riziculture en Côte d'Ivoire et les contraintes liées à la production du riz sont-ils exposés dans ce chapitre.

2.1. Origine et systématique du riz

Le riz est une graminée annuelle, d'origine tropicale, appartenant au genre *Oryza*. Il compte une vingtaine d'espèces dont deux seulement présentent un intérêt agricole et alimentaire pour l'homme. La position systématique du riz donnée par Linne (1753) est ci-dessous présentée.

Règne	: Végétal
Embranchement	: Phanérogames
Sous-Embranchement	: Angiospermes
Classe	: Monocotylédones
Ordre	: Glumales
Famille	: Poaceae
Sous-Famille	: Panicoïdea
Tribu	: Oryzea
Genre	: <i>Oryza</i>
Espèce	: <i>Oryza sativa</i> L., 1753

Les deux espèces alimentaires sont *Oryza sativa* L., d'origine asiatique et *Oryza glaberrima* Steud, d'origine africaine (Ndabalishye, 1995 ; ADRAO, 1998). Ces deux espèces sont caractérisées par la présence de ligules. L'espèce africaine possède une ligule courte et tronquée et une panicule dressée qui la distingue de l'espèce asiatique dont la ligule est plus longue, bifide, avec la panicule légèrement retombante à maturité (Sié, 1991). Seule *Oryza sativa* a des ramifications secondaires au niveau de la branche primaire de la panicule (Jacquot & Arnaud, 1979).

2.2. Morphologie de la plante

Le riz est une plante herbacée annuelle avec une tige ronde recouverte de feuilles sessiles plates en forme de lame et une panicule terminale (Lacharme, 2001). Le plant de riz (Figure 4) est composé d'organes végétatifs et d'organes de reproduction (Wopereis *et al.*, 2008).

2.2.1. Organes végétatifs

Le système racinaire du riz est constitué de racines séminales et adventices. Les racines séminales provenant de la radicule ont une vie éphémère. Elles sont remplacées par des racines adventices ou secondaires qui apparaissent avec le tallage à partir des nœuds souterrains de la jeune tige puis sur des nœuds supérieurs. Ces racines assurent la nutrition hydrique et minérale de la plante. La densité et le développement du système racinaire dépendent surtout du type de sol et des techniques agricoles (Angladette, 1966). La profondeur maximale explorée par les racines est d'environ 40 cm. Mais certains types variétaux comme le riz flottant, peuvent explorer jusqu'à 90 cm de profondeur dans le sol.

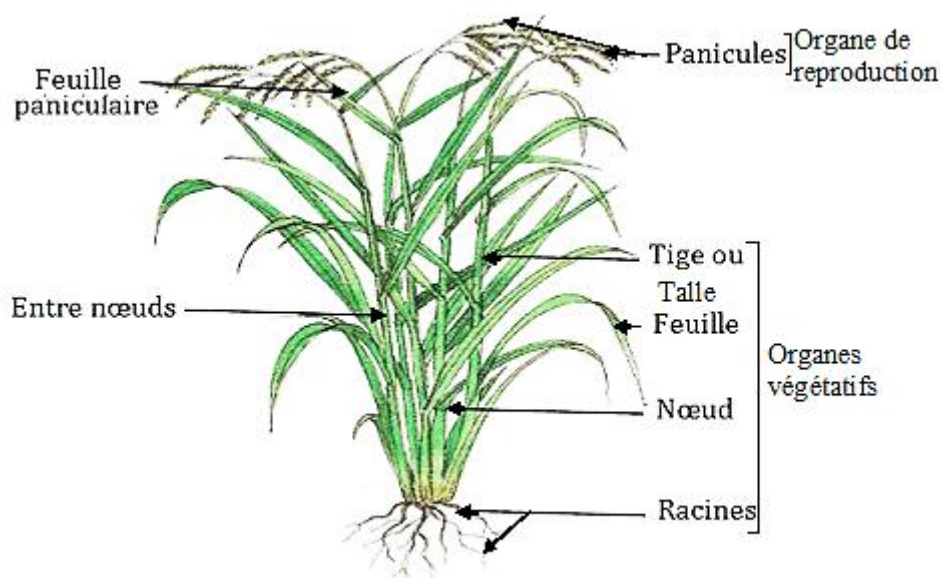


Figure 4 : Morphologie d'un plant de riz (ADRAO, 1995)

La tige ou chaume est faite de nœuds et d'entre-nœuds. Les entre-nœuds sont extrêmement réduits à la base de la tige, mais s'allongent au fur et à mesure que la plante grandit. Chaque nœud est le point d'attache d'une feuille engainante (Lacharme, 2001). Au collet, se développent des tiges secondaires appelées talles de premier ordre. Les talles de second ordre se développent sur ceux de premier ordre par la suite. Le tallage est fonction du milieu, de la variété et du niveau de fertilité du sol.

La feuille de riz est constituée de deux parties essentielles que sont la gaine foliaire et le limbe. Sur la plante, les feuilles sont alternes. La dernière feuille portant la panicule de riz est appelée

feuille paniculaire (ADRAO, 1995). Son limbe est plus court et plus large que ceux des autres feuilles.

2.2.2. Organes de reproduction

Le riz est une plante autogame. La fleur renferme les organes reproducteurs mâles et femelles. L'inflorescence est la panicule composée de ramifications primaires (rachis) et secondaires (racémules). Elle porte les épillets. Le nombre de ramifications primaires et secondaires est fonction de l'espèce et même de la variété. Une panicule peut porter entre 50 et 500 épillets. Il existe des différences entre la longueur et la forme des panicules selon les variétés.

Le fruit ou paddy, objet de la culture, est un caryopse (Wopereis *et al.*, 2008). Il est constitué de trois parties essentielles :

- l'enveloppe comprenant les glumes, les glumelles (paléa et lemma) et le tégument ;
- l'endosperme qui sert de source alimentaire à l'embryon ;
- l'embryon situé dans la partie ventrale de l'épillet.

2.3. Croissance et développement du riz

Le riz cultivé est une plante annuelle dont le développement peut être subdivisé en trois phases (Figure 5) qui sont la phase végétative, la phase reproductive et la phase de maturation (Bert & Michel, 2014).

- La phase végétative s'étend de la germination à la fin du tallage. Elle est caractérisée par le tallage qui est un processus de ramification de la plante mère à partir des bourgeons axillaires. Le nombre de talles par pied dépend de facteurs externes mais aussi de l'aptitude de la variété au tallage. Le tallage actif est atteint entre 40 et 60 jours, puis décroît par suite de dégénérescence de certaines talles pour les variétés à cycles compris entre 105 et 150 jours (Angladette, 1966).

- La phase reproductive débute avec la transformation de l'apex végétatif en apex floral et s'achève avec la fécondation. Elle est marquée par la différenciation des pièces florales. La durée de cette phase est plus ou moins fixe, allant de 30 à 35 jours selon les variétés (Matsuo *et al.*, 1995).

- La phase de maturation se caractérise par la formation des grains avec la constitution et la migration des substances de réserve dans l'albumen du grain. Le grain de riz formé passe par les stades laiteux, pâteux et grain dur. La phase de maturation dure 25 à 40 jours (Wopereis *et al.*, 2008).

Divers facteurs interagissent pour permettre un bon développement et une bonne productivité du riz.

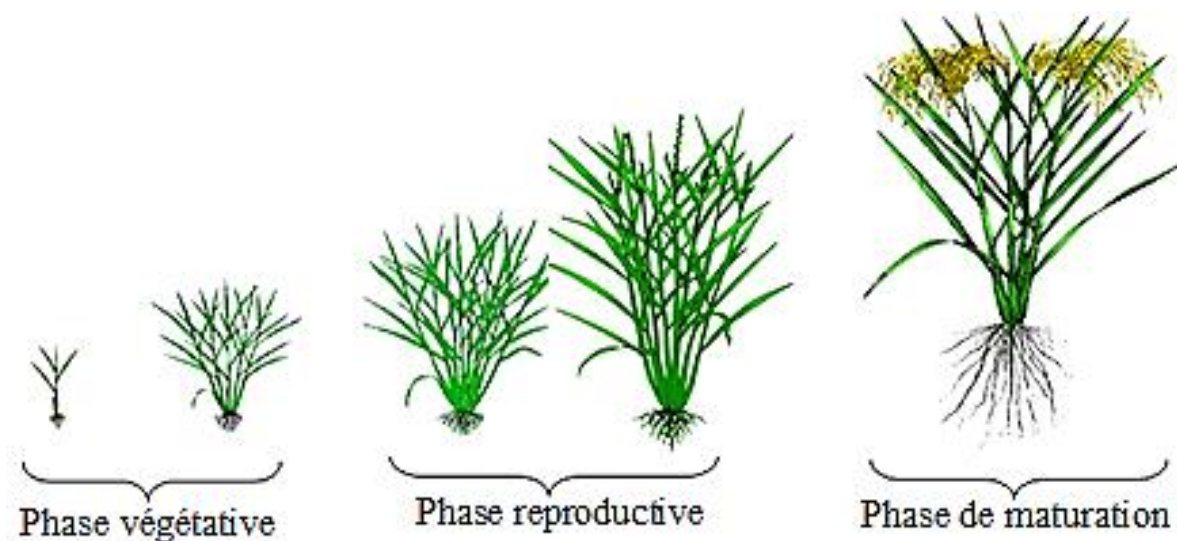


Figure 5 : Phases de développement montrant le tallage de la plante de riz (Bert & De Vries, 2014)

2.4. Exigences écologiques de la plante de riz

2.4.1. Exigences climatiques

Le riz est une plante qui exige une bonne insolation. Les vents chauds peuvent causer l'échaudage du riz alors que les vents forts provoquent la verse à maturité, surtout chez les variétés de grande taille (Mayer & Bonnefond, 1973) alors que les vents légers sont sans effet. La floraison exige 70 à 80 % d'humidité (ADRAO, 1995). La température favorable varie tout le long du cycle avec divers optima en fonction du stade de développement :

- 30 - 35°C favorable à la germination ;
- 28 - 30°C pour un bon tallage ;
- 27 - 29°C favorise la floraison ;
- autour de 25°C pour assurer une bonne maturation.

Les températures extrêmes acceptables pour le riz varient de 13 - 14°C (minimum) et 38 - 40°C au maximum. L'action de la lumière sur le riz varie avec les phases de développement et selon la variété. Elle peut interagir avec la température (Angladette, 1966).

Les besoins en eau du riz sont élevés. Une moyenne de 200 mm de pluie par mois est nécessaire pour le riz de bas-fonds et 100 mm par mois pour le riz de plateau. Les fortes pluies sont nuisibles à l'épiaison et gênent la moisson (Zingore *et al.*, 2014). Pour toute la durée du cycle, les besoins en eau sont estimés entre 1000 et 1800 mm (Dembele, 2005). Le besoin en eau est

croissant avec l'âge des plants et, une période de sécheresse supérieure à dix jours peut avoir des effets néfastes sur le rendement (Mayer & Bonnefond, 1973 ; ADRAO, 1995).

2.4.2. Exigences édaphiques

Le riz peut être cultivé sur divers types de sols avec une préférence pour les sols ayant de bonnes capacités de rétention d'eau. Ainsi, les sols argileux à forte teneur en matière organique sont adaptés à la riziculture. Les sols à forte teneur en limon sont également tolérés. Toutefois, pour Akanza (2010), les sols contenant une proportion sensiblement égale d'argile, de limon et de sable sont les plus propices à la riziculture. Dans tous les cas, ces sols doivent avoir un pH proche de la neutralité (Zingore *et al.*, 2014).

2.4.3. Nutrition minérale du riz

L'azote, le phosphore et le potassium sont les trois principaux éléments de la nutrition minérale du riz. En effet, la production d'une tonne de riz paddy exporte environ 20 kg d'azote (N), 11 kg de P₂O₅ et 30 kg de K₂O (Zingore *et al.*, 2014). L'azote permet une croissance rapide des plantes et affecte tous les paramètres qui contribuent à l'obtention d'un bon rendement en riz (Dobermann & Fairhurst, 2000). Il stimule le tallage, accroît le nombre de grains par panicule, favorise le remplissage et la masse des grains (Lacharme, 2001). Le phosphore permet une meilleure croissance racinaire, favorise le tallage, la fécondation, la précocité et la fructification du riz (Houndjinou, 2007). Il favorise également une bonne résistance de la plante aux maladies et contribue au bon développement des grains. Le potassium quant à lui, intervient dans la photosynthèse chez le riz, favorise la migration et l'accumulation des glucides et des acides aminés dans certains organes de réserves. En réduisant les phénomènes de transpiration, le potassium assure une économie d'eau dans les tissus et assure une meilleure résistance de la plante à la sécheresse. Il joue un rôle primordial dans le développement racinaire et le maintien de la turgescence cellulaire de la plante. Le potassium augmente la résistance des plantes de riz aux maladies. Enfin, il favorise le tallage, accroît la taille et le poids du grain et la réponse de la plante au phosphore (Dobermann & Fairhurst, 2000 ; Lacharme, 2001 ; Elalaoui, 2007).

La plante de riz utilise 50 % d'azote, 50 % de potassium et 65 % de phosphore de ses besoins totaux jusqu'au début de l'initiation paniculaire et environ 80 % d'azote, 60 % de potassium et 95 % de phosphore jusqu'à l'épiaison. L'azote et le phosphore sont plus absorbés par la graine que la paille, alors qu'une importante quantité du potassium, du calcium, du magnésium, du fer, du manganèse et du bore reste dans la paille. Le soufre, le zinc et le cuivre sont distribués plus équitablement entre la paille et la graine (Yoshida, 1981). La déficience du sol en l'un de ces

minéraux, se manifeste au niveau de la plante par des symptômes de carence (Bovey *et al.*, 1972).

2.4.3.1. Effet de carence en azote

La carence en azote dans le sol, se manifeste chez le riz, par un ralentissement de la croissance, une réduction du nombre de talles, une coloration vert pâle ou jaunâtre des feuilles les plus âgées et par une réduction de la floraison. L'excès d'azote favorise la verse chez les céréales (Elalaoui, 2007).

2.4.3.2. Effet de carence en phosphore

La carence en phosphore dans le sol s'exprime par un ralentissement de la croissance générale du plant de riz et une coloration pourpre des feuilles qui débute sur les feuilles âgées (Liu *et al.*, 2001). Un retard de maturité, ainsi qu'une mauvaise formation des grains s'en suivent (FAO, 2005). Au niveau des feuilles, la carence se manifeste parfois par des colorations pourpres ou violacées sur les bords du limbe, le pétiole ou sur l'ensemble de la feuille (Elalaoui, 2007). L'excès de phosphore se manifeste par une croissance limitée et un jaunissement chlorotique généralisé.

2.4.3.3. Effet de carence en potassium

Une carence en potassium se manifeste sur la plante par l'apparition de tâches sur les feuilles, les panicules, et par une sensibilité de la plante à la verse (Elalaoui, 2007). Les apports massifs de potassium, ainsi que des teneurs trop élevées du sol en potassium, peuvent induire des carences en magnésium et en calcium par antagonisme.

2.4.3.4. Toxicité ferreuse

Le fer joue un rôle important dans des processus biologiques fondamentaux tels que la photosynthèse, la respiration, la fixation et l'assimilation de l'azote et la synthèse de l'ADN. De plus, il intervient comme cofacteur de nombreuses enzymes nécessaires à la synthèse d'hormones végétales (Briat, 2005). Dans des conditions réductrices avec un pH acide et en conditions de sols inondés le fer peut passer d'un état ferrique (Fe^{3+}) à l'état ferreux (Fe^{2+}) forme soluble (Kirk, 2004). Cependant, si la présence du fer sous forme soluble est excessive dans la plante de riz, elle induit une toxicité ferreuse (Fageria *et al.*, 2008). La toxicité ferreuse est donc un désordre nutritionnel pour les plantes, observé dans des sols saturés d'eau présentant de fortes concentrations de fer supérieures à 300 mg.kg^{-1} (Tanaka & Yoshida, 1970). Ces fortes concentrations de fer sont d'une part inhérentes au sol en place et d'autre part, découlent d'un

apport massif du fer des sols situés en amont par ruissellement et par circulation hypodermique (Audebert *et al.*, 2006). Les symptômes de la toxicité ferreuse chez le riz se reconnaissent par la présence d'une pellicule brune rougeâtre d'oxyde de fer sur les feuilles (Konaté, 2012). Les manifestations de la toxicité ferreuse peuvent être associées à des déficiences en phosphore, en zinc ainsi qu'à l'acidité et la baisse de la fertilité chimique du sol (Kirk, 2004).

Le fer absorbé par les plants de riz entraîne en plus de la décoloration des feuilles une forte réduction du tallage et de la hauteur des plants de riz (Tamaung, 2006). Ce qui occasionne des pertes de rendement allant de 16 à 78 % (Chérif *et al.*, 2009 ; Audebert & Fofana, 2009).

2.5. Importance du riz

Le riz constitue un important aliment de base des populations mondiales avec des consommations annuelles par habitant dépassant 100 kg dans certains pays. Aujourd'hui, avec une consommation par habitant de plus en plus croissante, le riz est entrain de remplacer, rapidement, les nourritures traditionnelles dans de nombreux pays (ADRAO, 2001). En Afrique de l'Ouest et du Centre, le riz est devenu une denrée d'importance stratégique pour des raisons techniques, économiques ou traditionnelles et constitue la principale culture céréalière (Kormawa *et al.*, 2004). Toutefois, il représente 20 % de la consommation totale de céréales en Afrique de l'Ouest, après le sorgho (25 %), le maïs (23 %) et le mil (23 %) pour une superficie supérieure à 5,5 millions d'hectares cultivés.

En Côte d'Ivoire, la culture du riz représente 6 à 8 % du PIB, sur les 13 % qu'occupe le secteur vivrier. C'est la troisième production alimentaire après l'igname et le manioc et il est cultivé dans toutes les zones agroécologiques (RNA, 2001 ; FIRCA, 2011). Mais sa culture est nettement dominante dans trois districts principaux, qui totalisent 54 % des superficies emblavées (Akanza, 2010). Il s'agit des districts des savanes (23,40 %), des montagnes (21,50 %) et du woroba (9 %). La consommation ivoirienne avoisine actuellement 1500000 tonnes de paddy par an assurée à plus de 50 % par les importations (FAO, 2011). Selon Sanogo *et al.* (2010), du fait de l'urbanisation rapide de la Côte d'Ivoire, le riz est devenu l'aliment principal de la population (56 kg/personne/an). Il occupe une place prépondérante dans la vie économique et sociale de la population ivoirienne. Le développement de la culture du riz a connu diverses phases en Côte d'Ivoire passant par les sociétés d'état et la formation dans les années 1970 en vue de l'autosuffisance en riz. Toutefois, à ce jour, la production locale n'arrive pas à satisfaire la consommation nationale.

Les contraintes de la culture du riz sont liées à la baisse du niveau de fertilité des sols cultivés et à la dégradation des terres due à une forte pression foncière. Celle-ci est entretenue par un

taux d'accroissement démographique des plus élevés (3,5 %) en Afrique (Troupa & Koné, 2003). Au plan climatique, l'irrégularité des pluies et la baisse des quantités d'eau sont des contraintes majeures. Le système de production extensif sans utilisation d'intrants, et la forte pression parasitaire sont des contraintes importantes qui menacent ce secteur (Cattan *et al.*; 2001).

2.6. Etat des lieux de la fertilisation du riz en Côte d'Ivoire

En Côte d'Ivoire, la fertilisation du riz a débuté avec les engrais simples comme l'urée (46 % de N) puis les engrais composés à base de phosphore et d'azote (Boyer, 1968). Par la suite, l'engrais complexe cotonnier NPK (10 18 18) a été utilisé faute de formule spécifique adaptée au riz (Poisson & Doumbia, 1987). Actuellement, ce sont le NPK 12 – 24 - 18 et le NPK 15 - 15 - 15, plus appropriés au maraichage, qui sont utilisés en fertilisation minérale du riz. Toutefois, les engrais simples sont plus utilisés que les engrais composés (Gala *et al.*, 2007). Par ailleurs certains producteurs s'orientent vers l'utilisation des amendements organiques comme compléments à la fertilisation minérale en vue de limiter les effets néfastes des engrais chimiques. Cependant, le recours à ces amendements est limité par les quantités à apporter pour compenser un faible niveau de nutriments du sol (Ouédraogo *et al.*, 2001 ; Akanza & Yoro, 2003).

2.7. Contraintes à la fertilisation du riz

Les contraintes à la fertilisation du riz sont d'ordres biotiques, socioéconomiques, climatiques et pédologiques. Du point de vue biotique, les adventices qui sont des concurrents du riz pluvial pour les éléments nutritifs du sol, l'eau et la lumière, peuvent annuler l'effet de l'apport des fertilisants (Gala *et al.*, 2007). La pratique du désherbage mécanique ou chimique est alors une exigence pour réduire ces compétitions néfastes pour le riz. De plus, la cherté des engrais minéraux, leur faible disponibilité et la pauvreté des riziculteurs constituent des contraintes socioéconomiques majeures limitant l'accès aux fertilisants (Bado, 2002 ; Randrianarisoa & Minten, 2003 ; Gala *et al.*, 2007). Aussi, la pluviométrie est-elle, du fait de sa faible intensité ou sa mauvaise répartition, préjudiciable à certaines techniques en riziculture et réduit-elle l'efficacité de l'engrais (Bigot, 1977). De même, le pH du sol est facilement modifié par les engrais azotés et exerce un effet direct sur la biodisponibilité des minéraux par les phénomènes de solubilisation ou insolubilisation (Genot *et al.*, 2009). En effet, lorsque le sol devient acide, environ 65 à 90 % d'engrais phosphatés appliqués peuvent être précipités, donc non disponibles pour la plante (Hari *et al.*, 1997).

Conclusion partielle

Le riz pousse dans diverses zones agroécologiques et sa culture exige des conditions climatiques et édaphiques propres à chaque écosystème. En Côte d'Ivoire, la production du riz ne permet pas de satisfaire les besoins de consommation de la population. Cette faible production est liée aux contraintes à la fertilisation du riz qui sont d'ordres biotiques, socioéconomiques, climatiques et pédologiques.

Chapitre 3 : Généralités sur le milieu d'étude

Introduction partielle

Ce chapitre donne des informations sur le milieu d'étude. Il s'agit de situer le cadre de l'étude et de donner les caractéristiques du milieu ainsi que les activités socio-économiques qui y sont menées dans cette zone.

3.1. Cadre de l'étude

Cette étude est réalisée à Daloa, dans la région du Haut Sassandra, au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire. La ville de Daloa est située à 141 km de Yamoussoukro (capitale politique) et à 383 km d'Abidjan (capitale économique). En 2021, sa population était estimée à 421879 habitants, faisant d'elle la quatrième ville la plus peuplée du pays après Abidjan, Bouaké et Korhogo (RGPH, 2021). Le département de Daloa est limité par les départements de Vavoua au Nord, d'Issia au Sud, de Zuénoula et Bouaflé à l'Est et de Duékoué à l'Ouest.

3.2. Caractéristiques du milieu

3.2.1. Climat

Le régime climatique est celui du domaine Guinéen caractérisé par un régime équatorial et subéquatorial à deux maxima pluviométriques. Le pic de la grande saison est atteint au mois de juin et celui de la petite saison, au mois de septembre. Les précipitations annuelles varient entre 1200 et 1700 mm, avec une moyenne autour de 1300 mm (Brou, 2005). La température moyenne annuelle à l'ombre est de 25°C et l'humidité relative de l'air avoisine 75 % (Eldin, 1971). La durée d'insolation annuelle est d'environ 1800 à 2000 heures. Les durées d'insolation les plus faibles sont enregistrées en août, et les plus longues en décembre (Kalms & Kesse, 1997).

3.2.2. Végétation

La végétation originelle de la région de Daloa était une forêt dense humide semi-décidue (Guillaumet & Adjanohoun, 1971). Selon Kouakou *et al.* (2015), la végétation est de type forestier au Sud et de type savane arboré au Nord. Les activités anthropiques y sont dominées par l'exploitation forestière et la production agricole depuis plusieurs décennies, modifiant fortement le couvert végétal de la région. Ainsi, la forêt primaire a fortement régressé du fait des activités agricoles (Brou, 2010). En fait, la végétation en Côte d'Ivoire est actuellement le reflet de quelques parcs, réserves naturelles et forêts classées, malheureusement encore infiltrées par une forte activité agricole justifiant la perte de celle-ci de plus de 50 % par rapport

aux années 1960 (Figure 6). La végétation de la région du Haut-Sassandra n'a pas échappé à cette évolution régressive et aujourd'hui, la forêt a fait place à des jachères, constituées essentiellement de dicotylédones, avec une dominance de *Chromolaena odorata*, des lambeaux forestiers et des plantations de cultures pérennes (Ndabalishye 1995 ; Gnahoua, 2004 ; Zanh *et al.*, 2016). Ces plantations sont prioritairement constituées de cacaoyères, caféières, de parcelles d'hévéa et de palmier à huile (Barima *et al.*, 2016).

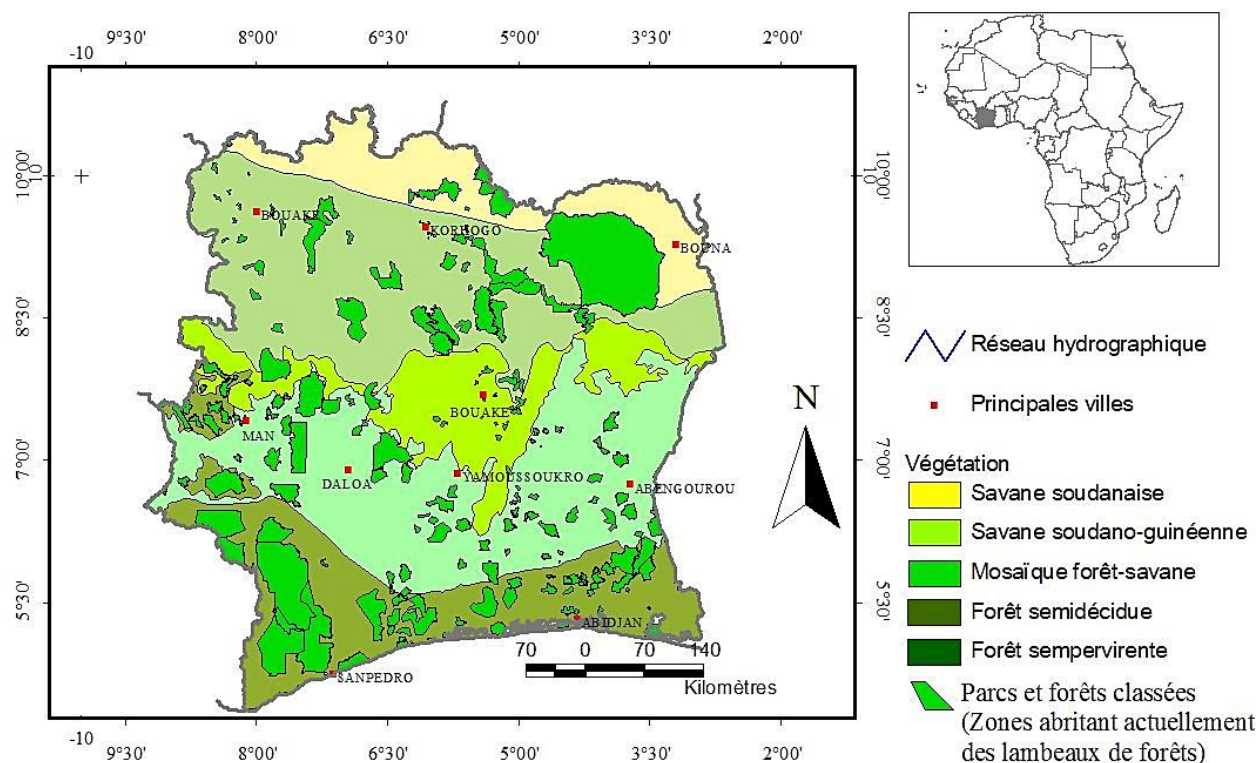


Figure 6 : Carte de la végétation de Côte d'Ivoire

3.2.3. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est très dense. La quasi-totalité du Département se trouve dans le bassin versant de la rivière Lobo et ses affluents (Yao *et al.*, 2012). Outre ces affluents, l'on y observe de nombreux bas-fonds valorisables pour la riziculture dont une faible proportion est effectivement exploitée.

3.2.4. Sols et géomorphologie

Le Département de Daloa s'étend sur un plateau de 200 à 400 m d'altitude avec des plaines et des bas-fonds. Il s'agit d'une pénéplaine monotone légèrement inclinée vers le Sud (Die, 2006). Elle regroupe un ensemble de dômes cristallins de faible altitude (300 à 400 m) situés au Nord

et des bas plateaux (200 à 300 m) au Sud (Avenard, 1971). Le substrat pédologique de Daloa appartient au vieux socle précambrien composé de granites, de migmatites et de granito-gneiss (Dabbadie, 1996). Dans la majeure partie du Département, les sols ferrallitiques de texture argilo-sableuse à argileuse sont dominants (Monnier, 1983 ; FAO, 2002 ; Kassin & Yoro, 2009). Du fait de la végétation originelle et du climat favorisant l'altération des roches, les sols de la zone de Daloa sont profonds. L'abondance des précipitations y favorise la perte de bases du sol mettant en place des sols généralement désaturés. L'horizon humifère est peu épais, mais riche en matières organiques. Les propriétés physiques et chimiques de ces sols sont favorables aux cultures pérennes et vivrières (Dabin *et al.*, 1960). Les bas-fonds y sont essentiellement sableux du fait d'apport de sédiments érodés plus haut.

3.2.5. Activités socio-économiques

Les activités économiques sont assez diversifiées. Cependant, l'agriculture reste la principale activité ayant favorisée le déplacement de nombreuses populations vers cette zone faisant de Daloa, la quatrième ville la plus peuplée du pays, et créant ainsi, une pression sur le foncier. Le système agricole, au départ extensif, évolue aujourd'hui vers une agriculture beaucoup plus intensive du fait de la raréfaction des terres cultivables (Brou, 2005). Les activités agricoles sont aussi assez diversifiées dans le Département. On y trouve les cultures de rente comme le café, le cacao et l'hévéa. C'est d'ailleurs la deuxième zone de production du cacao et la première du café (MINAGRI, 2010). Les principales cultures vivrières sont le riz, la banane plantain, le manioc, le maïs et les légumes (Koffie-Bikpo & Kra, 2013). La riziculture est la principale culture vivrière et la riziculture pluviale est, en majorité, contrôlée par les femmes (Binaté-Fofana, 1996). L'utilisation de fertilisants en riziculture y est rare (Gala *et al.*, 2007).

La population de la zone est composée de peuples autochtones, allochtones et allogènes venus de divers pays frontaliers. Au niveau des étrangers, les ressortissants du Burkina Faso et du Mali sont dominants. A côté des autochtones Bétés, les Baoulés, les Sénoufos et les Malinkés sont dominants (Zanh *et al.*, 2016 ; Kouakou *et al.*, 2017). Ces peuples majoritairement agricoles font vivre cette activité tournée vers la production du cacao, du café et de l'exploitation du bois. L'activité agricole participe en outre à la réduction du couvert forestier de cette région autrefois forestière (Zanh *et al.*, 2018).

Conclusion partelle

L'environnement agroécologique de la localité de Daloa apparaît favorable à la culture du riz pluvial.

DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES

Chapitre 4 : Matériel et méthodes

Chapitre 4 : Matériel et méthodes

Introduction partielle

L'indication du matériel utilisé et la méthodologie suivie pour atteindre les objectifs assignés à cette étude sont exposées dans ce chapitre. La méthodologie a pris en compte les travaux réalisés sur le terrain, les travaux de laboratoire et le traitement statistique.

4.1. Sites d'étude

Cette étude s'est déroulée sur trois sites. Le premier a été installé à l'UJLoG (N06°54'37.0'' ; W006°26'20.1'') et le deuxième au Lycée Moderne 5 (N06°52'26.2'' ; W006°26'21.1'') dans la ville de Daloa. Ces deux sites étaient distants d'environ 3 km et ont servi à la production du produit résiduaire. Celui du Lycée Moderne 5 (LM5) situé au centre-ville est fortement anthropisé alors que l'autre a été une caféière en jachère de 10 ans au moins mais constamment entretenue par le service d'entretien de l'Université. L'essai agronomique est installé sur le troisième site au campement Zongo (N06°47.454' ; W006°37.173') à environ 30 km de la ville de Daloa. Ce site était un ferralsol sableux situé en bordure d'une rivière. La végétation de cette ancienne caféière est essentiellement constituée de vieux plants de caféiers, de cacaoyers, de palmiers et de manguiers constituant les ligneux cultivés à côté de nombreux arbustes du genre *Ficus*, *Chromolaena* et *Imperata* représentant les graminées dominantes. Le site a présenté une faible pente (Figure 7).

4.2. Matériel

4.2.1. Matériel technique pour la production du produit résiduaire

La matière première utilisée pour produire le substrat à tester est essentiellement constituée de résidus agricoles. Ce sont les chaumes et rafles de maïs et les coques de cabosses de cacao auxquels ont été associés de la bouse sèche de bovins et de l'eau (Figure 8). Cette matière première a constitué un appât et associe divers matériaux dont :

- des pots en terre cuite (Figure 8 E) ayant servi de réceptacles de l'appât ;
- des sacs ayant servi pour le transport des résidus agricoles et du produit résiduaire ;
- de l'eau qui a servi à humidifier l'appât à la pose des pièges ;

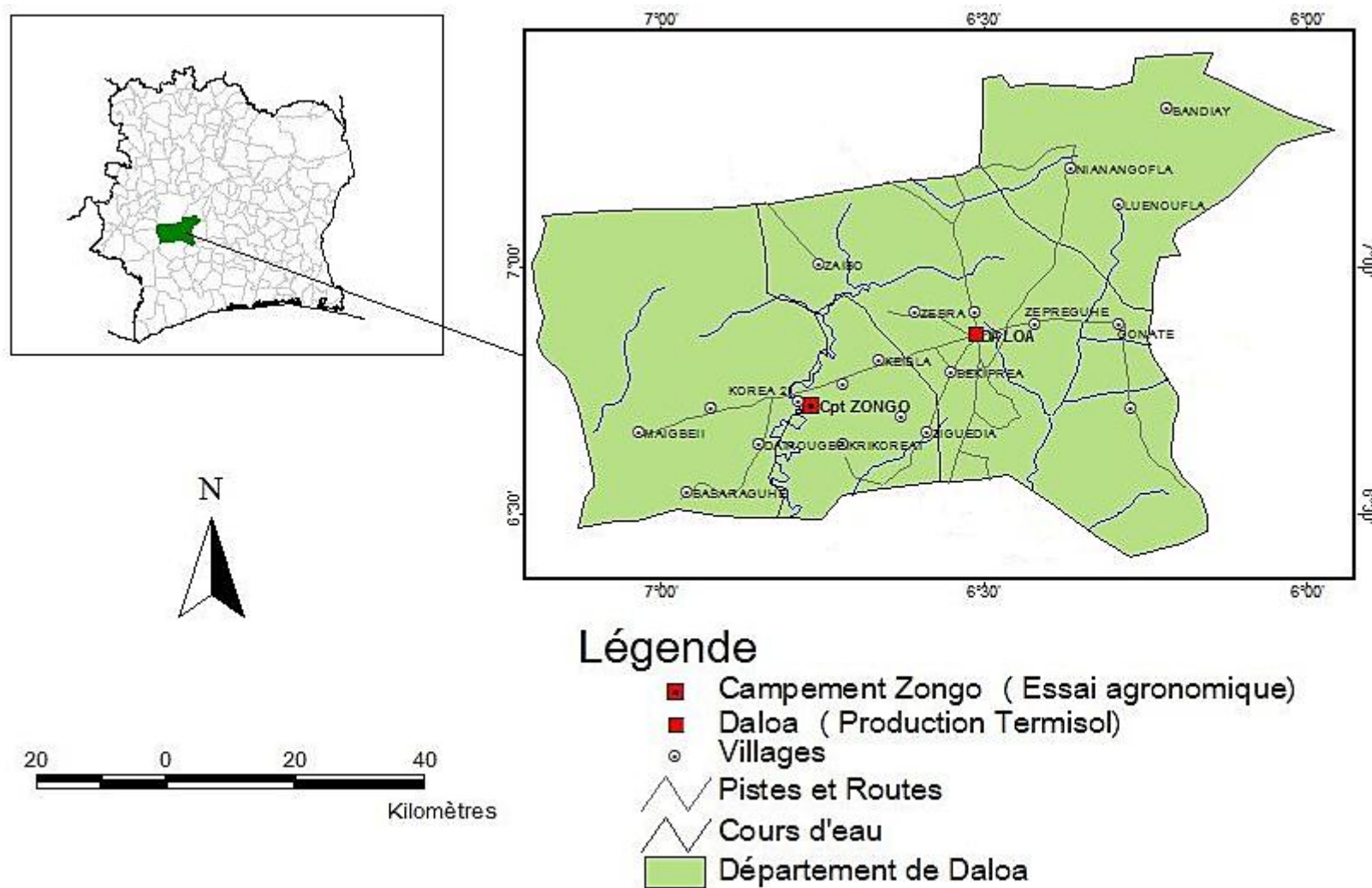


Figure 7 : Sites de production du produit résiduaire et de l'essai agronomique

- des gants ayant servi à se protéger les mains lors de la récolte du produit résiduaire ;
- des sachets en plastique qui ont permis la conservation du produit résiduaire ;
- un tamis de 2 mm de diamètre de maille (Figure 8 F) ayant servi à séparer le produit résiduaire des résidus non dégradés ;
- des bâches en plastique qui ont servi au séchage du produit résiduaire.

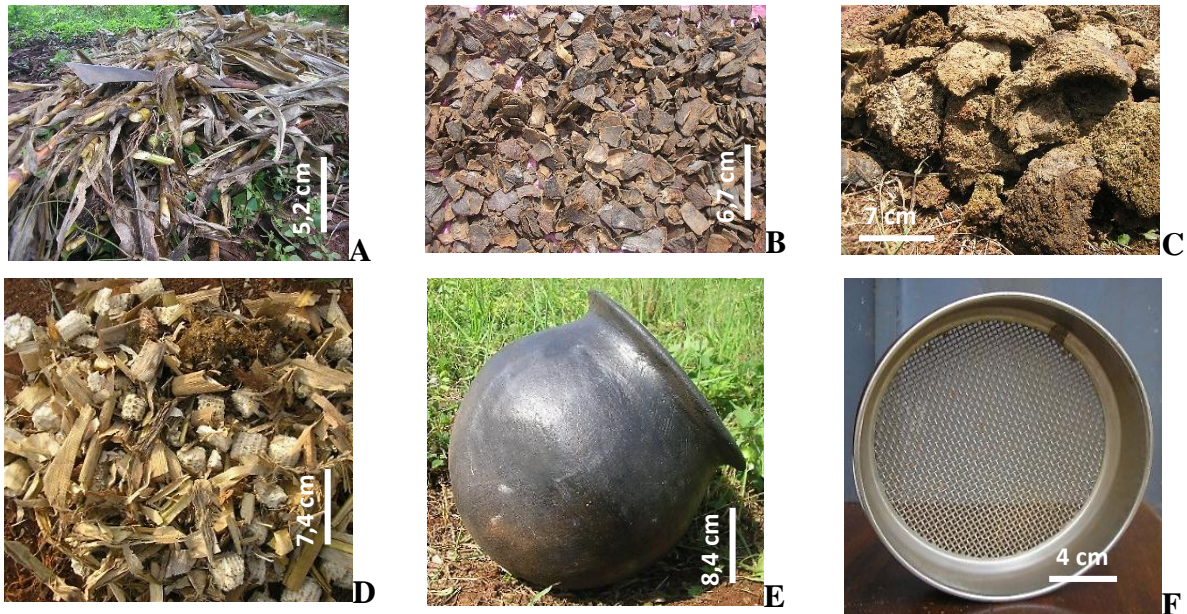


Figure 8 : Résidus agricoles, bouses sèches de bovin, appât et matériel technique de production du produit résiduaire

A : Résidus de maïs ; B : Coques de cabosses de cacao ; C : Bouses sèches de bovin ; D : Appât humecté constitué de résidus de maïs émiétés et de bouse sèche de bovin ; E : Pot en terre cuite servant de réceptacle (piège) ; F : Tamis de 2 mm de maille.

4.2.2. Matériel pour la collecte et l'identification des termites

Le matériel technique utilisé pour l'échantillonnage, la conservation et l'identification des termites est composé de (Figure 9) :

- alcool éthylique 70°, du coton et piluliers étiquetés (Figure 9 B) ayant servi à la collecte et à la conservation des termites ;
- pinces entomologiques (Figure 9 A) et verres à montre qui ont servi à trier les termites ;
- ruban adhésif pour l'étiquetage des piluliers contenant les échantillons ;
- loupe binoculaire stéréo Zoom ZEISS Stemi 305 (Figure 9 C) ayant servi à identifier les termites ;
- ordinateur ayant servi à visualiser les termites ;
- clés de détermination extraites de Sands (1959 et 1972), Bouillon & Mathot (1965), Roy-Noel (1966) et Grassé (1984 et 1986).



Figure 9 : Matériel de tri, de conservation et d'identification des termites

A : Pince entomologique ; B : Piluliers étiquetés ; C : Loupe binoculaire stéréo Zoom ZEISS Stemi 305

4.2.3. Matériel technique de terrain

Le matériel de terrain est constitué comme suit (Figure 10) :

- des pioches et des pelles qui ont servi à ouvrir les fosses pédologiques ;
- un couteau de pédologue ayant servi à apprécier la dureté du sol ;
- un code Munsell (Figure 10 A) qui a servi à déterminer la couleur les horizons du sol ;
- une tarière qui a permis de prélever les échantillons de sol à analyser ;
- un marteau de 1 kg et un infiltromètre (Figure 10 B) qui ont servi à déterminer la perméabilité du sol ;
- un chronomètre qui a permis à évaluer le temps d'infiltration de l'eau ;
- des bidons de 20 l et un fût ayant servi au stockage de l'eau pour l'évaluation de l'infiltration ;
- une règle graduée de 50 cm de longueur qui a servi à mesurer la hauteur d'eau dans le cylindre central ;
- un humidimètre FieldScout TDR 350 (Figure 10 C) ayant servi à mesurer l'humidité et la température de surface du sol ;
- un appareil photo Olympus qui a permis à prendre les photos ;
- un appareil GPS MAP 64 sc. GARMIN qui a permis de relever les coordonnées géographiques.



Figure 10 : Matériel technique d'étude du sol sur le terrain

A : Code munsell ; B : Infiltromètre et marteau ; C : Humidimètre TDR 350

4.2.4. Matériel technique de laboratoire

Le matériel de laboratoire est constitué de divers appareils et verreries (Figure 11) dont les différents usages sont consignés dans le tableau II.

Tableau II : Matériel technique de laboratoire pour la mesure des paramètres physico-chimiques du sol

Mesures	Matériel
pH	Electrode de verre, pH-mètre à électrode de type JENWAY 3520
Granulométrie	Agitateur magnétique chauffant de marque Stuart, erlenmeyer de 500 ml, étuve, thermomètre, tamis de 200 μm et 50 μm de maille, verre de montre, capsules en verre et en porcelaine, agitateur rotatif, pissette, pipette de Robinson, chronomètre, siphon, allonges de sédimentation, bêcher 800 cc, balance électronique.
Bases échangeables	Centrifugeuse, tubes de centrifugation de 45 ml, agitateur rotatif PTR-60, pots en plastique, creusets en porcelaine, ballon jaugé de 100 ml, four à moufle de marque Nabertherm, bain de sable, étuve, spectrophotomètre d'absorption atomique.
Phosphore assimilable	Agitateur magnétique chauffant de marque Stuart, ballon jaugé de 100 ml, tubes de centrifugation de 45 ml, agitateur rotatif PTR-60, centrifugeuse, pots en plastique, entonnoirs, spectrophotomètre UV visible double faisceau iC6850.
N total et CEC	Erlenmeyer de 250 ml, matras type Kjeldhal, pierre ponce, digesteur minéralisateur type Kjeldahl-DK20, distillateur de Kjeldahl de marque UDK 129 VELP SCIENTIFICA, burette à zéro automatique.
Carbone total	Agitateur magnétique chauffant de marque Stuart, béchers 500 ml, burette à zéro automatique.
Mg, Cu et Zn	Spectromètre à absorption atomique

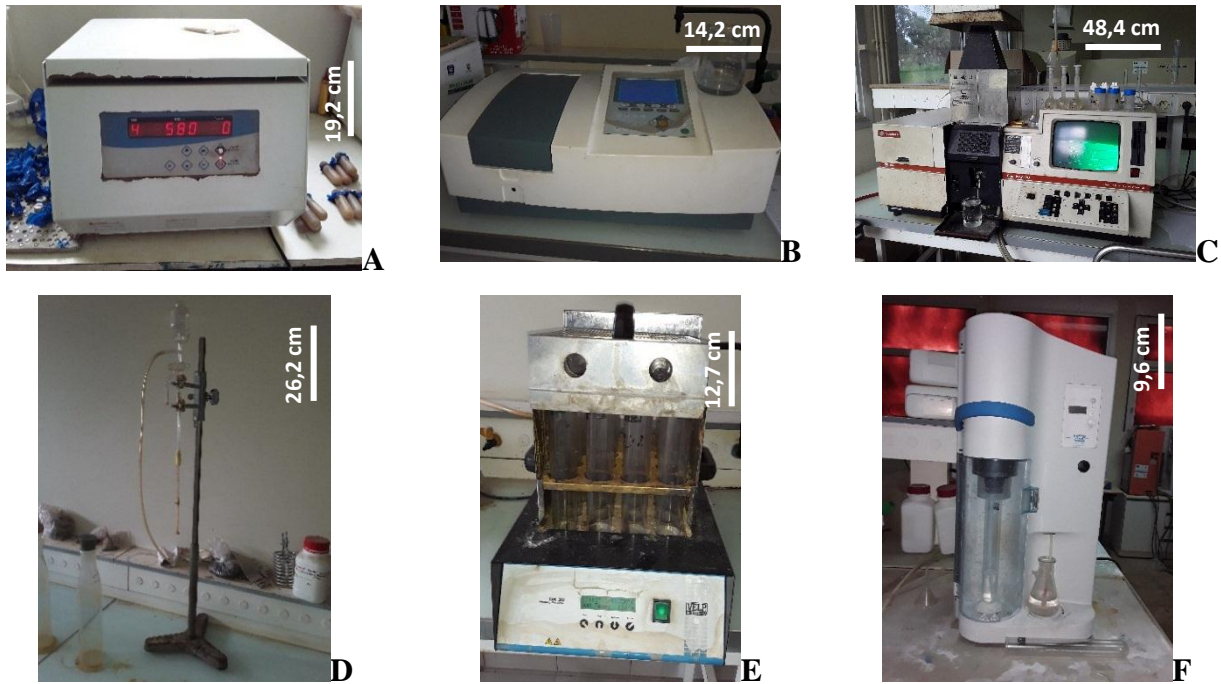


Figure 11 : Divers appareils de laboratoire

A: Centrifugeuse ; B : Spectrophotomètre UV à double faisceaux ; C : Spectrophotomètre d'absorption atomique ; D : Pipette de Robinson; E : Digesteur ; F : Distillateur.

4.2.5. Matériel pour le test agronomique

4.2.5.1. Matériel biologique

Outre la caractérisation physico-chimique du produit résiduaire, une évaluation des potentialités agronomique du ‘‘Termissol’’ est faite en riziculture. Le matériel biologique de cette étude est composé de plantes de riz issues de la semence de la variété IDSA 10 (Figure 12). IDSA 10 est une variété de riz pluvial qui a un cycle de 105 jours avec un rendement moyen de 2,5 t.ha⁻¹. Elle présente aussi une bonne tolérance à la sécheresse (Tableau III).



Figure 12 : Variété de riz IDSA 10
A : Semence de riz ; B : Plantes de riz

Tableau III : Caractéristiques agronomiques de la variété de riz IDSA 10 (CNRA, 2016)

Paramètres	Caractéristiques
Variété améliorée	IDSA 10
Type cultural	Pluvial de plateau
Cycle semis - maturité	105 jours
Hauteur à maturité	110 - 120 cm
Rendement potentiel	4,8 t.ha ⁻¹
Rendement en milieu paysan	2,5 t.ha ⁻¹
Sécheresse	Bonne tolérance
Verse	Bonne résistance
Sensibilité à l'acidité	Très sensible
Pyriculariose	Assez bonne résistance

4.2.5.2. Matériel technique pour l'évaluation agronomique

Le matériel utilisé pour installer le dispositif de l'essai et la mesure des paramètres de production du riz comprend (Figure 13) :

- des houes et des binettes ayant servi à la préparation du lit de semis et à biner le sol ;
- un décamètre (50 m) (Figure 13 A) qui a servi à mesurer la parcelle et les lits de semis.
- une balance électronique (Figure 13 B) ayant servi à faire les pesées (sol et végétaux) ;
- un mètre pliant de menuisier 1 m (Figure 13 C) qui a servi à mesurer la hauteur des plants ;
- une paire de ciseaux (Figure 13 D) ayant servi à échantillonner les végétaux ;
- du papier calque qui a permis de déterminer la surface foliaire (Lepengue *et al.*, 2012) ;
- un marqueur ayant servi à l'étiquetage des échantillons ;
- une étuve (Figure 13 E) et du papier aluminium qui ont été utilisés pour le séchage de la biomasse ;
- des filets (Figure 13 F) qui ont servi à protéger le riz des oiseaux granivores ;



Figure 13 : Matériel technique de mesure des paramètres agronomiques

A : Décamètre ; B : Balance électronique ; C : Mètre pliant de 1 m ; D : Paire de ciseaux ; E : Etuve ; F : Filets de pêche

4.2.6. Substances fertilisantes

Le produit résiduaire de termites est évalué vis-à-vis de sa capacité fertilisante en riziculture pluviale en présence de 3 trois témoins :

- la fiente de volaille (fumure organique) est caractérisée par des teneurs en azote (N), phosphore (P), potassium (K), calcium (Ca) et magnésium (Mg) respectives de 1,40 %, 0,45 %, 1,72 %, 2,44 % et 0,32 %. Quant aux oligo-éléments, les teneurs en cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn) et zinc (Zn) ont été respectivement de 5,03 mg.kg⁻¹, 10,11 mg.kg⁻¹, 5,09 mg.kg⁻¹ et 7,19 mg.kg⁻¹ ;
- du NPK (15-15-15) et de l'urée (46% N) ;
- la terre de termitière caractérisée par une texture limono sableuse, pauvre en matière organique (1,16 %), peu acide avec une CEC de 7,2 cmol.kg⁻¹. C'est une terre désaturée avec un taux de saturation (V) de 34,44 % et une somme de bases égale à 2,48 cmol.kg⁻¹.

4.3. Méthodes

4.3.1. Production et caractérisation du produit résiduaire

4.3.1.1. Production du produit résiduaire

Les résidus de maïs et les coques de cabosses de cacao ont été collectés dans la zone d'étude et utilisés progressivement pour le piégeage des termites. Le dispositif expérimental a consisté à poser 6 pièges et à créer une (1) zone de digestion libre par site. Les pièges P1 à P6 et la zone

de digestion libre (DL=P7) ont servi à la production du produit résiduaire des termites à partir des résidus de maïs sur chaque site (Figure 14). La mise en place du dispositif de collecte du produit résiduaire des termites a tenu compte de la présence des termites dans la zone matérialisée par les placages au sol. Ce dispositif qui a été inspiré d'une pratique de paysan-éleveur de volaille dans le Nord de la Côte d'Ivoire constitue le piège.

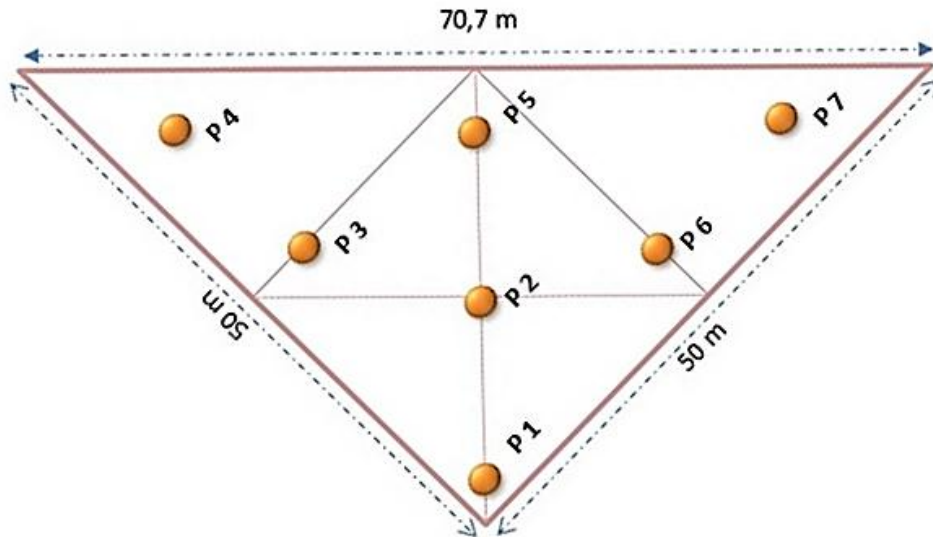


Figure 14 : Schéma du dispositif expérimental appliqué pour la collecte du produit résiduaire des termites

La matière première utilisée pour le piégeage des termites a été essentiellement composée de chaumes et rafles de maïs ou de coques de cabosses de cacao émiettés auxquelles ont été ajoutées de la bouse sèche de bœufs et de l'eau. Une fois implanté, le piège a été recouvert afin de réduire l'ensoleillement. La récolte des pièges s'est faite tous les 3 - 6 jours entre 9 h et 10 h 30 mn (Figure 15). Le contenu de chaque piège a été alors vidé dans un récipient. Après échantillonnage de termites, l'ensemble a été pesé et mis à sécher pendant 2 h au soleil, permettant ainsi aux termites de quitter les substrats. Dans la pratique paysanne, les termites sont utilisés pour nourrir la volaille. Ce substrat est tamisé à travers un tamis de maille de 5 mm afin de séparer les résidus non dégradés de la fraction fine remontée par les termites. Le piège est reconstitué avec une quantité déterminée de résidus et remis en place pour les prochaines récoltes. Le produit résiduaire organique grossier constitué est envoyé séché à l'ombre pendant 24 h et passé au tamis de 2 mm de maille. Le tamisât, objet de cette étude, dénommé "Termisol" et le refus sont pesés et le "Termisol" stocké dans un sachet en plastique étiqueté. Une dégradation libre est également faite en exposant des tas de résidus aux termites directement au sol. Le produit est traité dans les mêmes conditions que celui issu des pièges.



Figure 15 : Étapes de la collecte des termites et du produit résiduaire

A : Piège chargé de l'appât ; B : Piège placé sous ombrière ; C : Piège ouvert pour la récolte.

4.3.1.2. Caractérisation physico-chimique du "Termisol" et du sol

À partir du produit résiduaire issu des différentes récoltes sur chaque site, un échantillon composite est constitué et envoyé au laboratoire pour analyse. Deux échantillons composites ont été ainsi caractérisés. Il s'agit de composite à base de résidus de maïs et de composite issu de coques de cabosses de cacao.

Les paramètres analysés ont été :

- la granulométrie effectuée par la méthode densimétrique à l'aide de la pipette de Robinson (Gee & Bauder, 1986) ;
- le carbone organique total déterminé selon la méthode de Walkley & Black (1934) ;
- la teneur en matière organique (MO) calculée après la détermination du taux de carbone organique par l'équation suivante : $MO = C \times 1,72$ avec C (taux de carbone) ;
- le phosphore assimilable (P.ass) déterminé selon la méthode Olsen modifiée (Dabin, 1967) ;
- la capacité d'échange cationique (CEC), déterminée selon la méthode Kjeldahl ;
- le pH_{eau} mesuré par lecture directe à l'aide de pH-mètre ;
- l'azote total (Nt) déterminé selon la méthode Kjeldahl (Bremner, 1996) ;
- les bases échangeables ont été dosées par spectrophotométrie d'absorption atomique.

4.3.1.3. Efficacité de l'activité des termites

Le calcul de l'efficacité de l'activité des termites est fait en déterminant :

- la masse initiale des résidus ;
- la masse du refus ;
- la masse de produit résiduaire obtenu après tamisage à 2 mm ;
- le temps d'exposition des résidus aux termites.

L'efficacité est alors calculée de la manière suivante :

$$Ep = \frac{R - (r + EG)}{T} \quad (1)$$

Avec :

- Ep = efficacité du piège (g.j⁻¹) ;
- R = Masse sèche totale collectée du piège (g) ;
- r = masse du refus non digéré (g) ;
- EG = masse d'éléments grossiers remontés du sol (g) ;
- T = Temps d'exposition des résidus aux termites (j).

4.3.2. Identification des termites impliqués dans la production du "Termisol"

Les différents termites rencontrés par piège sont prélevés à chaque récolte, à l'aide de pinces. Les termites collectés sont conservés dans de l'alcool éthylique à 70° dans des piluliers. Ils sont ensuite identifiés sous une loupe binoculaire en utilisant les clés de détermination de Bouillon & Mathot (1965), renforcées par les illustrations sur les termites de Josens (1972) et les descriptions de Grassé (1984 & 1986). L'identification a été faite au niveau du genre.

4.3.3. Evaluation agronomique du "Termisol"

4.3.3.1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est en blocs complètement randomisés (BCR) avec trois répétitions de dix (10) traitements chacune (Figure 16). Les traitements sont constitués par six (6) doses de "Termisol" et quatre témoins. Les témoins sont :

- la fertilisation chimique NPK 15 - 15 - 15 ;
- la fiente de volaille à la dose de 7t.ha⁻¹ (Soro *et al.*, 2015) ;
- la terre de termitière naturelle prise dans la nature ;
- le témoin absolu sans fertilisation.

Les doses de "Termisol" appliquées sont calculées sur la base de la masse de sol contenu dans un mètre carré d'une profondeur utile de 22 cm de la parcelle à fertiliser (Soro *et al.*, 2021).

La densité apparente du sol à amender a été déterminée par la méthode au cylindre. Un cylindre de dimension connue a été enfoncé mécaniquement dans le sol, puis retiré avec la terre qu'il contenait. Au laboratoire, cette prise de terre a été séchée à l'étuve, à 105°C, puis pesée. La densité a été déterminée par le rapport de la masse de terre séchée sur le volume du cylindre (Boa, 1989 ; Chamayou & Legros, 1989).

La densité apparente du sol est calculée de la manière suivante :

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2)$$

Avec :

ρ : masse volumique du sol en g.cm^{-3}

M : masse de sol (g)

V : volume du sol (cm^3)

Ainsi, les doses de ‘‘Termisol’’ utilisées ont été :

- 2,91 kg.m^{-2} soit 1% de Termisol ;
- 5,83 kg.m^{-2} soit 2% de Termisol ;
- 8,73 kg.m^{-2} soit 3% de Termisol ;
- 11,65 kg.m^{-2} soit 4% de Termisol ;
- 14,55 kg.m^{-2} soit 5% de Termisol ;
- 17,50 kg.m^{-2} soit 6% de Termisol.

La parcelle élémentaire est rectangulaire de 1,25 m de longueur et 1 m de largeur.

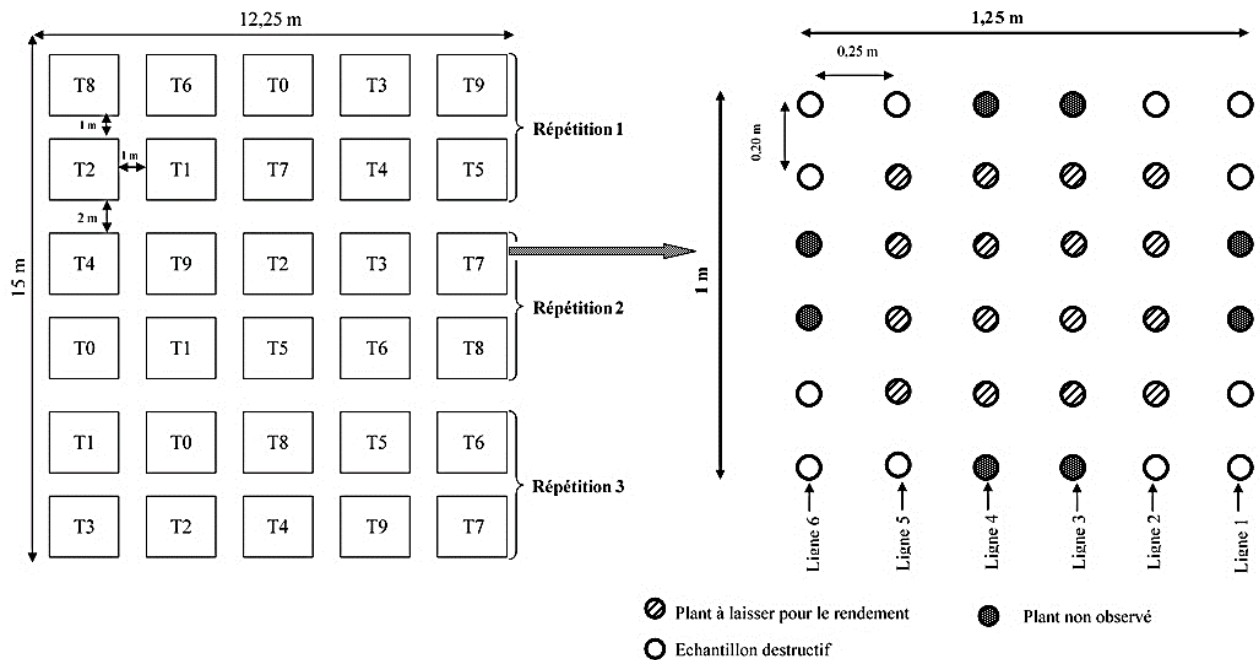


Figure 16 : Schéma du dispositif expérimental appliqué au champ.

4.3.3.2. Caractérisation du sol

❖ Description physique

La caractérisation du sol a commencé par une description de l'environnement du site de chacune des trois (3) fosses ouvertes sur une toposéquence orientée E-SE – W-NW. La caractérisation des profils a pris en compte :

- la profondeur utile du sol et l'épaisseur des couches ont été faites par mesure directe avec un ruban et par observation ;
- la couleur du sol a été déterminée à l'aide de code Munsell ;
- la texture a été faite par observation sur le terrain selon la méthode du boudin et de l'anneau ;
- la structure a été déterminée par observation de l'organisation et de l'agencement des agrégats de sol ;
- la porosité a été déterminée par observation des agrégats ;
- la compacité et la dureté ont été appréciées par le test de pénétration au couteau ;
- l'hydromorphie a été faite par observation directe des horizons.

❖ Mesures physiques et chimiques au laboratoire

Un échantillon composite du sol du site a été constitué avant la première mise en place de l'essai afin de déterminer le niveau de fertilité du sol de la parcelle. Cette analyse a été associée à celle des échantillons de résidus agricoles et du produit résiduaire utilisé pour amender les parcelles. À la fin de chaque cycle de culture, des échantillons composites ont été constitués en fonction des divers traitements pour analyse. Toutes les analyses ont été faites au laboratoire d'analyse des végétaux et des sols (LAVESO) de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny de Yamoussoukro (INPHB). Les paramètres analysés sont :

- La granulométrie déterminée par la méthode densimétrique à l'aide de la pipette de Robinson (Gee & Bauder, 1986). Cette méthode consiste à séparer les particules de sol en fonction de leurs dimensions. Elle permet de connaître sous une forme pondérale la répartition des particules minérales de moins de 2 mm de diamètre selon différentes classes texturales ;
- Le pH_{eau} des échantillons de sols, mesuré par lecture directe au pH-mètre selon un rapport sol/eau distillée de 1 : 2,5 après agitation de la suspension (Anderson & Ingram, 1993 ; AFNOR, 1999) ;
- Le carbone organique dosé après calcination des échantillons de sol au four à moufle selon la méthode de Walkley & Black (1934). Cette détermination a été faite par la méthode

d'attaque sulfochromique à froid après oxydation par le bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) en milieu fortement acide (H_2SO_4). La détermination du taux de carbone a permis de calculer la teneur en matière organique (MO) :

$$MO = C \times 1,724$$

Où (3)

- MO : Taux de matière organique (%) ;
- C : Taux de carbone organique (%).

- Le dosage de l'azote est réalisé selon la méthode Kjeldahl (Bremner, 1996). La minéralisation consiste en la transformation de l'azote organique en une forme minérale (le sulfate d'ammonium) dans un milieu concentré [acide sulfurique (H_2SO_4)], en présence d'un catalyseur. La distillation permet la transformation du $(NH_4)_2SO_4$ en NH_4OH en présence d'un excès de soude qui alcalinise le milieu réactionnel. La solution obtenue est distillée, puis l'ammonium est récupéré dans une solution d'acide borique qui a été titrée à l'aide d'une solution d'acide sulfurique ;

- Le phosphore assimilable a été déterminé selon la méthode de Olsen modifiée (Dabin, 1967) et le phosphore total par colorimétrie après extraction à l'acide perchlorique (Murphy & Riley, 1962) ;

- Les bases échangeables (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) ont été extraites à l'acétate d'ammonium 1 M tamponnée à pH=7. Le calcium et le magnésium ont été quantifiés par spectrophotométrie d'absorption atomique. Quant au potassium, il a été mesuré à travers une spectrophotométrie à flamme (Eponon *et al.*, 2019). La capacité d'échange cationique (CEC) correspond à la somme des bases du complexe d'échange.

❖ Infiltration

L'infiltromètre à double anneaux a été utilisé. Les anneaux extérieur et intérieur ont respectivement 32 et 11 cm de diamètre et 18 cm de hauteur. Une règle graduée a été placée contre la face interne de l'anneau interne afin de faciliter la lecture du niveau d'eau (Figure 17 A). Les anneaux sont disposés de façon concentrique et enfoncés verticalement de 5 cm dans le sol. Le niveau d'eau de départ est de 12 cm de hauteur et la hauteur d'eau infiltrée a été lue toutes les 2 minutes. La variation du niveau d'eau dans l'anneau intérieur (Δh), le temps d'infiltration (Δt) ont permis de calculer la vitesse d'infiltration (V) :

$$V = \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad (4)$$

Où

- ΔH est en millimètre (mm) ;
- Δt en heure (h).

Le coefficient de perméabilité (K) a été calculé selon la formule suivante :

$$K = (D/2 \times \ln \frac{h_1}{h_2}) \div 2 \times (t_2 - t_1) \quad (5)$$

Où

- (D/2) représente le rayon de l'anneau intérieur en mètres ;
- ln représente le logarithme ;
- h1 et h2 sont les hauteurs initiales et finales mesurées en mètres ;
- (t2- t1) exprime, en secondes, la durée écoulée entre deux mesures consécutives.

❖ Humidité et température du sol

Après chaque récolte, l'humidité et la température du sol sont mesurées à la saturation et à la capacité au champ à l'aide d'un humidimètre. Pour les mesures, les sondes de l'appareil sont enfoncées dans le sol à une profondeur de 3,8 cm et la lecture des 2 paramètres est faite sur l'écran (Figure 17 B).



Figure 17 : Mesure de l'infiltration, de l'humidité et de la température
 A : Mesure de l'infiltration avec infiltrmètre à double anneaux ; B : Mesure de l'humidité et de la température du sol avec l'humidimètre TDR 350

4.3.3.3. Amendement du sol

Six (6) doses de ‘‘Termisol’’ ont été appliquées avec quatre (4) témoins en fumure de fonds.

Les traitements à base de ‘‘Termisol’’ sont :

- 1%Termisol : apport de 29,10 t.ha⁻¹ ;
- 2%Termisol : apport de 58,30 t.ha⁻¹ ;
- 3%Termisol : apport de 87,30 t.ha⁻¹ ;
- 4%Termisol : apport de 116,50 t.ha⁻¹ ;
- 5%Termisol : apport de 145,50 t.ha⁻¹ ;
- 6%Termisol : apport de 175 t.ha⁻¹.

Les traitements témoins sont :

- ZéroF : Témoin absolu sans fertilisant ;
- NPK : apport de 0,15 t.ha⁻¹ de NPK (15 -15 - 15) : témoin minéral ;
- TermNat : Apport de 116,50 t.ha⁻¹ de terre de termitière naturelle prise sur le site de l’essai (Boga, 2007) ;
- Fiente : Apport de fiente de poulet à la dose de 7 t.ha⁻¹ : témoin organique.

Pendant la phase végétative, une fertilisation de couverture avec l’urée (46 % N) à la dose de 0,07 t.ha⁻¹ a été faite au 40^e jour après semis sur toutes les parcelles.

4.3.3.4. Test de germination

Le potentiel germinatif de la semence de riz a été déterminé par un test de germination avant le semis pour apprécier la qualité de la semence. Cent (100) graines prises au hasard ont été semées sur une rondelle de papier buvard dans une boîte de pétri. Ces graines sont arrosées avec de l’eau distillée puis recouvertes d’une autre rondelle de papier buvard humectée pour limiter l’évaporation. Au bout de cinq (5) jours, le nombre de semences germées est compté pour obtenir le taux de germination (Zingore *et al.*, 2014).

4.3.3.5. Semis

Le semis en champ est réalisé à trois (3) grains par poquet à 0,20 x 0,25 m soit une densité de 200 000 poquets par hectare. La densité de semis a été de 40 plants par mètre carré soit 400 000 plants par hectare. Environ trois semaines après le semis, les plants sont démariés à deux par poquet.

4.3.3.6. Collecte des données

4.3.3.6.1. Paramètres végétatifs de croissance

4.3.3.6.1.1. Taux de levée

Le taux de levée est le rapport du nombre de plantules sur le nombre de graines semées. Il est calculé après dénombrement des plantules à 6, 8, 10 et 15 jours après semis (jas).

4.3.3.6.1.2. Emission foliaire

L'émission foliaire a été appréciée par comptage du nombre de feuilles sur le brin maître des plantes à 43 et 64 jas.

4.3.3.6.1.3. Surface foliaire

La surface foliaire a été évaluée à 64 jas en reproduisant sur papier calque, 4 feuilles par traitement. L'image calquée de la feuille a ensuite été découpée et sa masse évaluée (Figure 18). Cette masse a permis d'estimer la surface foliaire en connaissant la masse à l'unité de surface du papier calque. Les surfaces foliaires ont alors été déduites par correspondance des masses calculées (Lepengue *et al.*, 2012). La surface foliaire est exprimée en mètre carré (m²).

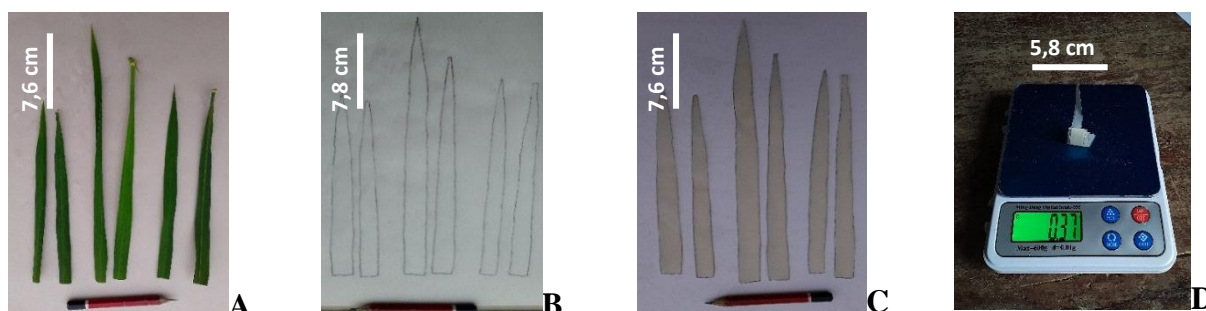


Figure 18 : Évaluation de la surface foliaire

A : Feuille de riz sur le papier calque ; B : Contours des feuilles calquées ; C : Feuilles calquées découpées ; D : Pesée des feuilles calquées.

4.3.3.6.1.4. Hauteur des plantes

La taille des plantes a été mesurée à l'aide d'un mètre pliant de menuisier à 67 et 75 jas. Cette mesure a été faite du collet de la plante au niveau d'insertion de la panicule sur la feuille paniculaire du brin maître de la plante la plus vigoureuse du poquet. La hauteur a été exprimée en cm.

4.3.3.6.1.5. Détermination de la biomasse et la taille des racines

Un échantillonnage destructif est réalisé sur deux plantes par traitement à quatre âges différents (30, 45, 60 et 75 jas). Les plantes choisies ont été délicatement arrachées, les racines ont été

rincées avec de l'eau, essorées avec un papier buvard et leurs longueurs mesurées avec un mètre menuisier pliant. Chaque plante fraîche a ensuite été pesée et sa racine sectionnée au niveau du collet. Les racines fraîches ainsi que la partie aérienne fraîche ont été pesées séparément et placées à l'étuve pour séchage à la température de 70°C pendant 48 h avant le pesage sec (Figure 19). Les longueurs ont été exprimées en cm et les masses en g.

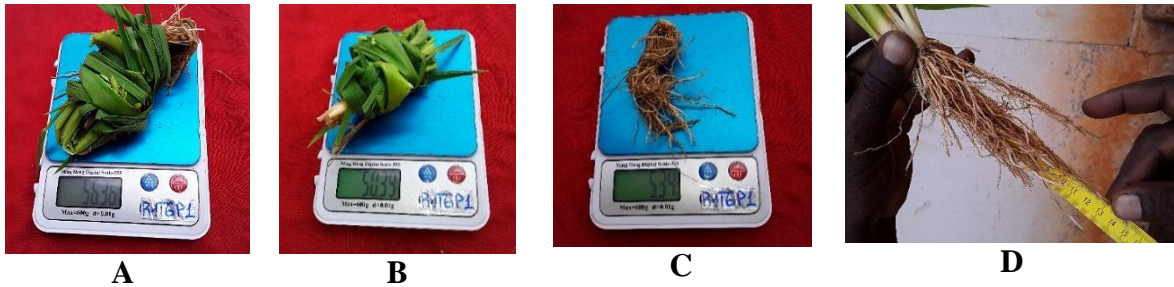


Figure 19 : Évaluation de la biomasse, la longueur des racines des plants de riz et des panicules
A : Pesée de la plante entière fraîche ; B: Pesée de la partie aérienne fraîche ; C: Pesée des racines fraîches; D : Évaluation de la longueur des racines.

4.3.3.6.2. Diagnostic foliaire

À 60 jas, vingt (20) feuilles indices ont été prélevées par parcelle élémentaire avec une paire de ciseaux. La feuille indice étant la plus jeune feuille mature bien exposée au soleil (Bell *et al.*, 2001). Les parties prélevées sont la gaine foliaire et le limbe (Yoshida *et al.*, 1976).

4.3.3.6.3. Paramètres de production

4.3.3.6.3.1. Qualité du tallage par plante et nombre de panicules par talle

Le nombre de talles fertiles, infertiles et le nombre total de talles par plante ont été déterminés par comptage à 75 jas ainsi que le nombre de panicules à 104 jas. Les rapports nombre de panicules sur nombre de talles et nombre de panicules sur nombre de plantes ont permis de préciser le nombre de panicules par talle et par plante.

4.3.3.6.3.2. Épiaison et floraison

La floraison est évaluée par comptage du nombre de poquets ayant une plante en fleur à partir de la première floraison jusqu'à 50 % de floraison.

L'épiaison est évaluée par comptage du nombre de poquets ayant au moins une plante en épiaison jusqu'à 50 % d'épiaison des plantes de la parcelle élémentaire.

4.3.3.6.3.3. Détermination de la longueur de la panicule

La longueur de la panicule a été mesurée de la base du premier épillet à son extrémité lors de la récolte à 105 jas.

4.3.3.6.3.4. Evaluation du rendement en paddy

Le riz est récolté par poquet à 105 jas. Les panicules du même poquet sont ainsi pesées ensemble. La récolte de trois panicules par parcelle élémentaire est envoyée au laboratoire pour séchage à l'étuve à 65 °C (Figure 20) pendant 24 h afin de déterminer la teneur en eau à la récolte selon la formule suivante :

$$H = 100 \times \frac{mf - ms}{mf} \quad (6)$$

Avec :

- H = Taux d'humidité à la récolte (%) ;
- mf = masse de grains frais en g ;
- ms = masse de grains secs en g.

Le rendement en paddy sec est calculé à 12 % d'humidité en utilisant un abaque de conversion du rendement frais en rendement sec à 12 % d'humidité :

$$\text{Rend} = \frac{\text{masse récoltée(kg)}}{\text{superficie(m}^2\text{)}} \times k, \text{ avec } k = \frac{100-H}{100-h} \quad (7)$$

- Rend = rendement en kg.m⁻² ou en t.ha⁻¹ ;
- H= Taux d'humidité à la récolte (%) ;
- h = humidité des grains secs (12 %) ;
- k = facteur de conversion grain humide en grain sec.



Figure 20 : Récolte et évaluation du taux d'humidité

A : Panicules de riz; B : Séchage à l'étuve pour l'évaluation du taux d'humidité

❖ Efficacité du ‘‘Termisol’’

L’efficacité du ‘‘Termisol’’ a été calculée en termes de productivité par rapport aux témoins selon la formule suivante :

$$E = \frac{\text{RendTermisol} - \text{RendTémoins}}{\text{RendTémoins}} \times 100 \quad (8)$$

Avec :

- RendTermisol : Rendement frais de la parcelle amendée au Termisol en t.ha⁻¹;
- RendTémoins : Rendement frais de la parcelle témoin en t.ha⁻¹ ;
- E : efficacité du Termisol (%).

4.3.4. Effet du ‘‘Termisol’’ sur les propriétés physico-chimiques du sol.

Après chaque cycle de culture, un échantillon de sol est prélevé dans chaque parcelle élémentaire dans l’horizon de surface 0 - 30 cm pour une caractérisation physico-chimique au laboratoire. Les paramètres analysés ont été la granulométrie, la teneur en matière organique (MO), le phosphore assimilable (P.ass), la capacité d’échange cationique (CEC), le pHeau, le carbone organique total, l’azote total (Nt) et les bases échangeables.

4.3.5. Traitements des données

Les données collectées sur le terrain ont été saisies et codifiées à l’aide du tableur Microsoft Excel 2013®. Ces données ont été traitées avec le logiciel XLSTAT. La normalité des distributions des échantillons a été vérifiée par le test de Shapiro-Wilk et l’homogénéité des variances vérifiée par le test de Levene. Si la variable dont provient l’échantillon suit une loi normale et qu’il y a homogénéité des variances, une ANOVA est réalisée, dans le cas contraire, c’est le test non paramétrique de Kruskal-Wallis qui est appliqué. L’analyse de variance a été complétée par le test de Newman-Keuls qui a permis de classer les moyennes à l’aide de la plus petite différence significative (ppds) au seuil de la probabilité de 5%. Une analyse en composantes principales (ACP) a été ensuite réalisée avec le logiciel R, en se basant sur la relation qui existe entre les indicateurs de la fertilité. Les graphiques ont été réalisés avec le logiciel Origin 5.0 et les cartes avec le logiciel Arcview 3.2.

Conclusion partielle

L’ensemble du matériel réuni a permis de mettre en œuvre des méthodes appropriées pour la réalisation de cette étude et d’obtenir des résultats. Des analyses statistiques ont été appliquées aux résultats d’une part pour déceler les différences significatives entre les traitements pour les variables étudiées et d’autre part, mettre en évidence les corrélations entre ces variables.

TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION

Chapitre 5 : Caractéristiques du produit résiduaire et identification des termites impliqués dans sa production

Chapitre 6 : Évaluation agronomique du produit résiduaire en riziculture pluviale

Chapitre 7 : Effet du “Termisol” sur les propriétés physiques et chimiques du sol

Chapitre 5 : Caractéristiques du produit résiduaire et termites impliqués dans sa production

Introduction partielle

Le chapitre 5 traite de l'élaboration, la caractérisation du produit résiduaire et de l'identification des termites impliqués. Aussi, les résidus agricoles servant de matières premières et les sols des sites de production ont été caractérisés.

5.1. Caractéristiques chimiques des résidus agricoles

Les teneurs en azote (N), phosphore (P), potassium (K), calcium (Ca) et magnésium (Mg) dans les résidus de maïs ont été respectivement de 0,70 %, 0,20 %, 1,340 %, 1,744 % et 0,293 % de matière sèche. Tandis que pour ces mêmes éléments, les teneurs dans les coques de cabosses de cacao ont été respectivement de 0,84 %, 0,48 %, 1,582 %, 2,529 % et 0,312 % de matière sèche. Quant aux oligo-éléments, les teneurs en cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn) et zinc (Zn) des résidus de maïs sont respectivement de 5,76 mg.kg⁻¹, 8,21 mg.kg⁻¹, 4,68 mg.kg⁻¹ et 7,21 mg.kg⁻¹ contre 6,56 mg.kg⁻¹, 14,26 mg.kg⁻¹, 5,06 mg.kg⁻¹ et 7,32 mg.kg⁻¹ pour ces éléments dans les résidus de cacao (Tableau IV). Les coques de cabosses de cacao sont globalement plus riches en éléments fertilisants minéraux que les chaumes et rafles de maïs. Ainsi, les taux d'azote sont de 0,7 et 0,84 % respectivement dans les résidus de maïs et de cacao. Les rejets de coques de cabosses de cacao contiennent deux fois plus de phosphore que les résidus de maïs.

La faible disponibilité des coques de cabosses de cacao a justifié l'utilisation des résidus de maïs plus facilement accessibles en ce moment.

Tableau IV : Caractéristiques des résidus agricoles

Résidus	% m.s					Oligo - éléments (mg.kg ⁻¹)			
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Maïs	0,70	0,20	1,340	1,744	0,293	5,76	8,21	4,68	7,21
Cacao	0,84	0,48	1,582	2,529	0,312	6,56	14,26	5,06	7,32

N : azote ; P : phosphore ; K : potassium ; Ca : calcium ; Mg : magnésium ; Cu : cuivre ; Fe : fer ; Mn : manganèse ; Zn : zinc ; m.s : matière sèche

5.2. Production du "Termisol"

5.2.1. Activités des termites

La production du "Termisol" a mis en évidence deux principales activités des termites dans les pièges. Il s'est agi de la dégradation des résidus agricoles constitués en appât et de la

remontée de terre dans le piège. Après la pose du piège, les termites le colonisent, y dégradent les résidus agricoles pour leurs besoins et y font remonter la terre. À la récolte, ce piège vu de l'intérieur montre les termites, les restes de résidus agricoles non dégradés, la terre remontée pour construire le nid et des galeries (Figure 21).



Figure 21 : Piège vu de l'intérieur mettant en évidence termites, galeries, terre remontée et résidus non dégradés

5.2.2. Caractéristiques de l'activité des termites dans le piège

La quantité moyenne de résidus dégradés ne varie pas avec les pièges ($p > 0,05$) quel que soit le site expérimental et cela, malgré une variation très hautement significative ($P < 0,001$) de la charge initiale dans les pièges à UJLoG et au LM5 (Tableau V). La classification à partir du test de Newman-Keuls a permis de distinguer trois niveaux de charges initiales des pièges sur le site UJLoG et deux niveaux de charges initiales des pièges au LM5.

La quantité moyenne de "Termisol" produite par piège varie significativement ($P = 0,035$) à UJLoG et ($P = 0,0177$) au LM5. À UJLoG, le piège P4 a produit la plus grande quantité de "Termisol" avec $655,04 \pm 46,84$ g contre $100,72 \pm 44,46$ g dans le piège P6. Les autres pièges ont des productions intermédiaires. Au LM5, le piège P6 a produit la plus grande quantité de "Termisol" avec $2965,62 \pm 521,98$ g et le piège P1 la plus petite quantité de "Termisol" avec $545,35 \pm 69,98$ g. Malgré la production différente de "Termisol" entre les pièges et les différences de charges initiales, le taux de dégradation des résidus n'a pas varié significativement sur les deux sites ($P = 0,0763$, UJLoG et $P = 0,0636$, LM5).

Des quantités de “Termisol” inférieures à la quantité de résidus dégradés ont parfois été obtenues sur le site UJLoG bien que la quantité de “Termisol” soit toujours supérieure à la dégradation des résidus au LM5.

Tableau V : Caractéristiques de la production du “Termisol” par les termites dans le piège

Pièges	UJLoG			LM5		
	Charge initiale (g)	Qtité dégrad (g)	Termisol (g)	Charge initiale (g)	Qtité dégrad (g)	Termisol (g)
P1	448,47 ±25,60 ^b	155,22 ±14,05 ^a	126,99 ±43,43 ^b	493,96 ±80,63 ^b	117,54 ±76,60 ^a	545,35 ±69,98 ^b
P2	614,97 ±62,79 ^{ab}	191,33 ±45,93 ^a	249,60 ±80,27 ^{ab}	683,21 ±61,36 ^b	363,15 ±205,83 ^a	1206,63 ±683,98 ^{ab}
P3	783,41 ±141,94 ^a	316,94 ±9,93 ^a	313,07 ±53,54 ^{ab}	1216,31 ±101,34 ^a	493,76 ±193,66 ^a	1663,79 ±879,98 ^{ab}
P4	513,01 ±11,12 ^b	241,70 ±60,87 ^a	655,04 ±46,84 ^a	1105,23 ±103,71 ^a	734,90 ±300,13 ^a	1257,47 ±678,45 ^{ab}
P5	469,91 ±48,64 ^b	165,64 ±26,38 ^a	288,40 ±58,10 ^{ab}	1374,58 ±418,05 ^a	1059,58 ±615,01 ^a	2159,31 ±473,31 ^{ab}
P6	544,13 ±65,16 ^b	157,57 ±11,69 ^a	100,72 ±44,46 ^b	1665,17 ±321,51 ^a	1324,36 ±642,64 ^a	2965,62 ±521,98 ^a
P7	784,10 ±82,99 ^a	272,35 ±126,56 ^a	413,49 ±278,50 ^{ab}	524,92 ±28,67 ^b	297,72 ±113,01 ^a	954,90 ±355,20 ^b
CV	0,2517	0,3828	0,7455	0,4645	0,8828	0,6201
Effet	0,0004 ^{***}	0,0763 ^{ns}	0,0350 [*]	0,0001 ^{***}	0,0636 ^{ns}	0,0177 [*]

Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % pour le Test de Newman-Keuls ; * différence significative P < 0,05; ***différence très hautement significative P < 0,001 ; ns : Différence non significative P > 0,05 ; CV : Coefficient de variation ; Qtité dégrad : Quantité de résidus dégradés ; “Termisol” : Produit résiduaire des termites ; P1 à P7: piège 1 à piège 7.

5.2.3. Efficacité de l’activité de production du “Termisol”

5.2.3.1. Efficacité liée à la récolte

Le taux de dégradation des résidus et le taux de “Termisol” ont globalement varié d’une récolte à une autre sur chaque site. À UJLoG (Figure 22A), le taux de dégradation des résidus a varié de 27,26 ± 9,14 g.j⁻¹ (récolte 1) à 35,39 ± 14,19 g.j⁻¹ (récolte 6). Le taux de dégradation des résidus croît en fonction du nombre de récoltes. Le taux de “Termisol” a varié de 23,44 ± 10,59 g.j⁻¹ (récolte 1) à 55,63 ± 24,32 g.j⁻¹ (récolte 4). Le taux de “Termisol” croît en fonction de nombre de récoltes jusqu’à la récolte 4 à partir de laquelle une légère baisse est observée. Au LM5

(Figure 22B), le taux de dégradation des résidus a varié de $57,73 \pm 25,05 \text{ g.j}^{-1}$ (récolte 1) à $113,99 \pm 50,43 \text{ g.j}^{-1}$ (récolte 4). Le taux de "Termisol" a varié quant à lui entre $124,39 \pm 53,27 \text{ g.j}^{-1}$ (récolte 1) et $307,05 \pm 116,39 \text{ g.j}^{-1}$ (récolte 6). Le taux de dégradation des résidus augmente avec le nombre de récolte jusqu'à la récolte 4 à partir de laquelle une légère baisse est observée tandis que le taux de "Termisol" croît en fonction du nombre de récoltes. Le taux de dégradation des résidus et le taux de "Termisol" au LM5 sont plus élevés que ceux du site UJLoG.

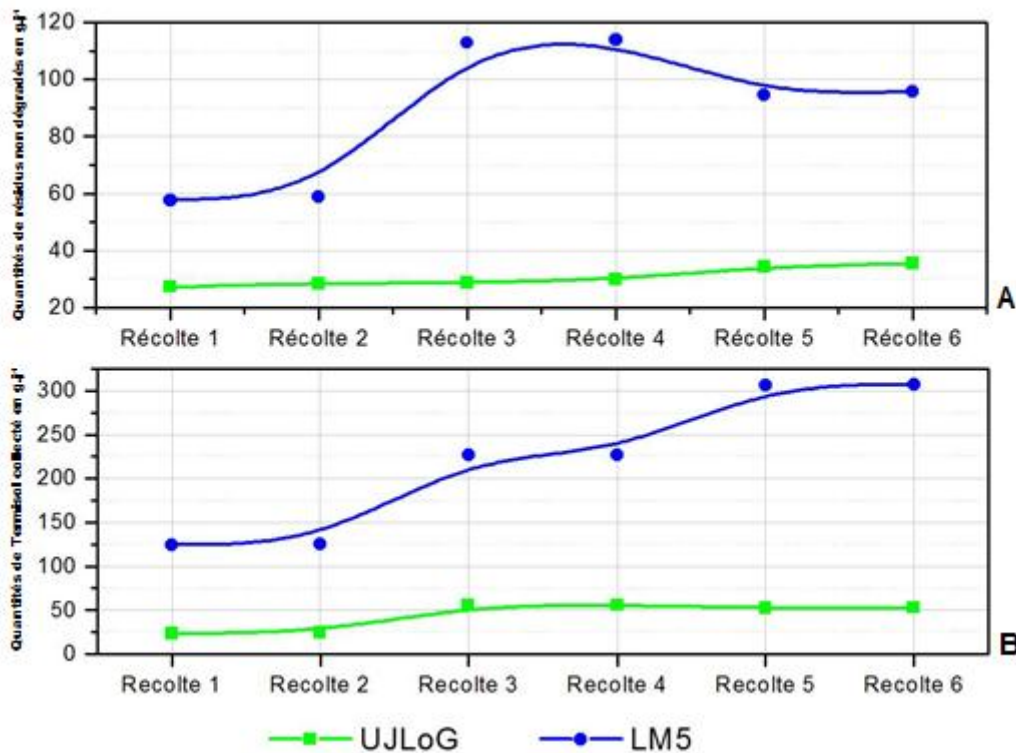


Figure 22: Variation des taux de dégradation des résidus et de "Termisol" selon les récoltes à UJLoG et au LM5

5.2.3.2. Efficacité du piège

Les taux de dégradation des résidus et de "Termisol" issus de l'activité des termites ont varié d'un piège à un autre et d'un site à l'autre. Sur le site UJLoG, le piège 4 présente le plus fort taux moyen de "Termisol" avec $93,57 \pm 35,26 \text{ g.j}^{-1}$ et un taux de dégradation de $34,53 \pm 8,71 \text{ g.j}^{-1}$ alors que le piège 3 présente un taux de dégradation moyen quotidien de résidus de $45,28 \pm 0,90 \text{ g.j}^{-1}$ pour $44,72 \pm 7,65 \text{ g}$ de "Termisol" par jour. La zone de dégradation libre (P7) présente un taux de "Termisol" par jour de $59,07 \pm 39,78 \text{ g}$ et un taux de dégradation des résidus par jour de $38,91 \pm 18,08 \text{ g}$ (Figure 23).

Au LM5, le piège 6 présente un taux moyen de dégradation des résidus par jour de $189,1 \pm 91,85 \text{ g}$ et une quantité de "Termisol" de $423,66 \pm 74,57 \text{ g.j}^{-1}$ alors que le piège 1 présente les plus

faibles taux de "Termisol" et de dégradation par jour avec respectivement $77,91 \pm 38,57$ g et $16,79 \pm 10,95$ g. La zone de dégradation libre (P7) présente un taux de "Termisol" par jour de $136,42 \pm 50,74$ g et un taux de dégradation des résidus par jour de $42,53 \pm 16,53$ g (Figure 23).

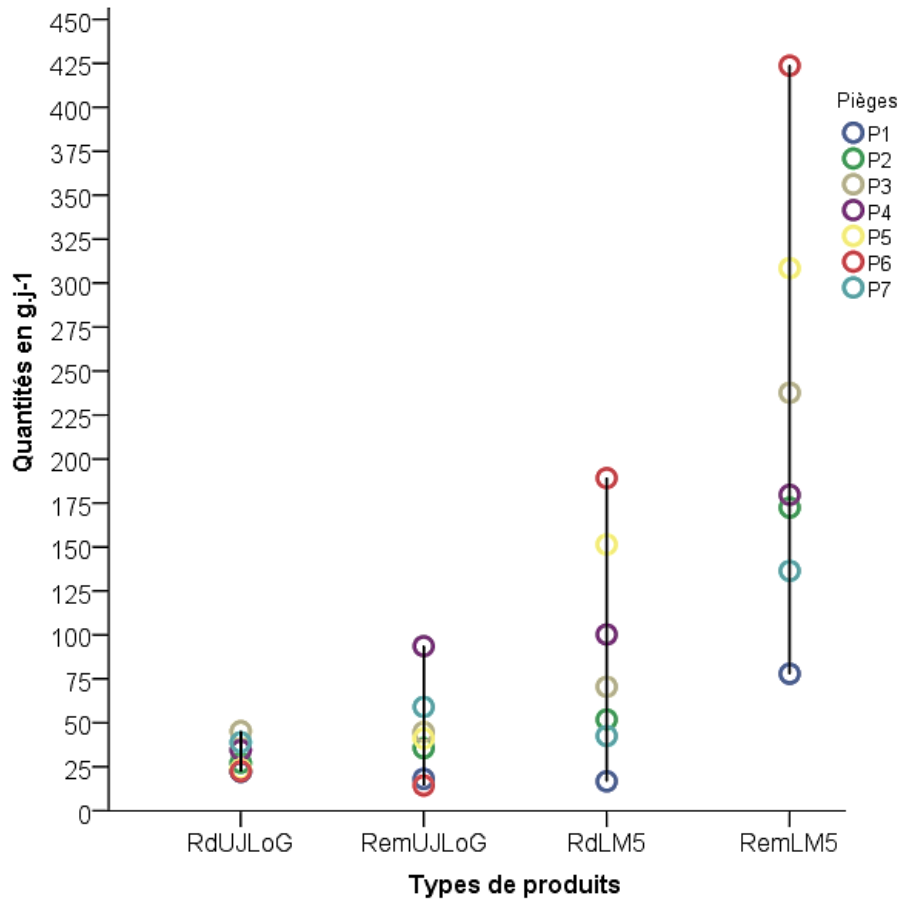


Figure 23: Variation des taux de dégradation des résidus et de "Termisol" selon les pièges à UJLoG et au LM5

RdUJLoG : Taux de dégradation UJLoG ; RemUJLoG : Taux de "Termisol" UJLoG ; RdLM5 : Taux de dégradation LM5 ; RemLM5 : Taux de "Termisol" LM5

5.3. Caractéristiques physico-chimiques du sol et des "Termisol"

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les échantillons de "Termisol" et de sol des sites de production du produit résiduaire ont montré que les deux sols des sites de production étaient acides, sablo-limoneux avec 64,59 % (sol témoin UJLoG) de sable et 64,52 % (sol témoin LM5), pauvres en matière organique (3,37 % et 3,15 % respectivement) et en azote (0,18 % pour UJLoG et 0,17 % pour LM5). La teneur en phosphore assimilable est insuffisante sur les deux sols (37 mg.kg^{-1} pour le témoin UJLoG contre 41 mg.kg^{-1} pour le témoin LM5). Le complexe absorbant est faiblement fourni sur les 2 sols témoins avec une CEC et une somme des bases échangeables respectives de $8,8 \text{ cmol.kg}^{-1}$ et $4,529 \text{ cmol.kg}^{-1}$ à UJLoG et pour des valeurs respectives de $8,4 \text{ cmol.kg}^{-1}$ et $3,568 \text{ cmol.kg}^{-1}$ au LM5. Le taux de saturation du

complexe absorbant en cations est moyen sur les deux sols avec respectivement 51,46 % à UJLoG et 58,97 % au LM5 (Tableau VI).

Le ‘‘Termisol’’ a présenté de meilleures caractéristiques comparé aux sols témoins. Ainsi, la texture est limono-sableuse (Figure 24), le statut organique est bon pour le ‘‘Termisol’’ maïs du site UJLoG avec 3,90 % de matière organique et faible pour ceux produit à partir des coques de cacao avec 2,94 % de matière organique. Au LM5, le ‘‘Termisol’’ à base de cacao et celui à base de maïs ont présenté un statut organique jugé très bon pour avec 8,30 % de matière organique chacun. La CEC plus forte que les témoins s’établit respectivement à 11,60 cmol.kg⁻¹ et 10,48 cmol.kg⁻¹ pour le ‘‘Termisol’’ maïs et pour le ‘‘Termisol’’ cacao avec respectivement des taux de saturation bon à 65,64 % et 85,19 % sur le site UJLoG. Cependant, au LM5, la CEC est restée faible dans le ‘‘Termisol’’ maïs avec 7,6 cmol.kg⁻¹ et moyen dans le ‘‘Termisol’’ cacao avec 10 cmol.kg⁻¹. Les taux de saturation sont bons pour le site LM5 avec 65,64 % et 86,74 % pour les ‘‘Termisol’’ maïs et cacao respectivement.

Tableau VI : Caractéristiques physico-chimiques du sol témoin et du ‘‘Termisol’’ maïs et cacao

Paramètres	UJLoG			LM5			
	Sol du site	Termisol maïs	Termisol cacao	Sol du site	Termisol maïs	Termisol cacao	
Granulométrie	A (%)	4,5	9	10,5	4	13	12,5
	L (%)	28,95	27,45	25,09	29,65	17,9	33,88
	A+L (%)	33,45	36,45	35,59	33,65	30,9	46,38
	S (%)	64,59	61,28	62,7	64,52	64,28	48,8
Bioorganique	C (%)	1,96	2,27	1,71	1,83	4,82	4,82
	Nt (%)	0,18	0,20	0,17	0,17	0,35	0,33
	C/Nt	10,87	11,34	10,17	10,78	13,78	14,62
	M.O (%)	3,37	3,90	2,94	3,15	8,30	8,30
Chimiques	pH eau	5	6,6	7,6	5,3	6,5	7,8
	P.ass (mg.kg ⁻¹)	37	96	75	41	63	58
	Ca ²⁺ (cmol.kg ⁻¹)	2,770	2,713	1,632	2,439	2,090	2,540
	Mg ²⁺ (cmol.kg ⁻¹)	1,478	2,476	1,583	0,741	1,182	1,385
	K ⁺ (cmol.kg ⁻¹)	0,164	2,308	5,586	0,272	1,093	4,636
	Na ⁺ (cmol.kg ⁻¹)	0,117	0,118	0,127	0,116	0,117	0,113
	CEC (cmol.kg ⁻¹)	8,8	11,6	10,48	8,4	7,6	10
	Sb (cmol.kg ⁻¹)	4,529	7,615	8,928	3,568	4,482	8,674
	V%	51,46	65,64	85,19	42,47	58,97	86,74

A : argile ; L : limon ; S : sable ; pH : potentiel hydrogène ; C : carbone ; C /N : rapport carbone azote ; Nt : azote total ; MO : matière organique ; P.ass : phosphore assimilable ; CEC : capacité d’échange cationique ; Sb : somme des bases échangeables ; V : Taux de saturation.

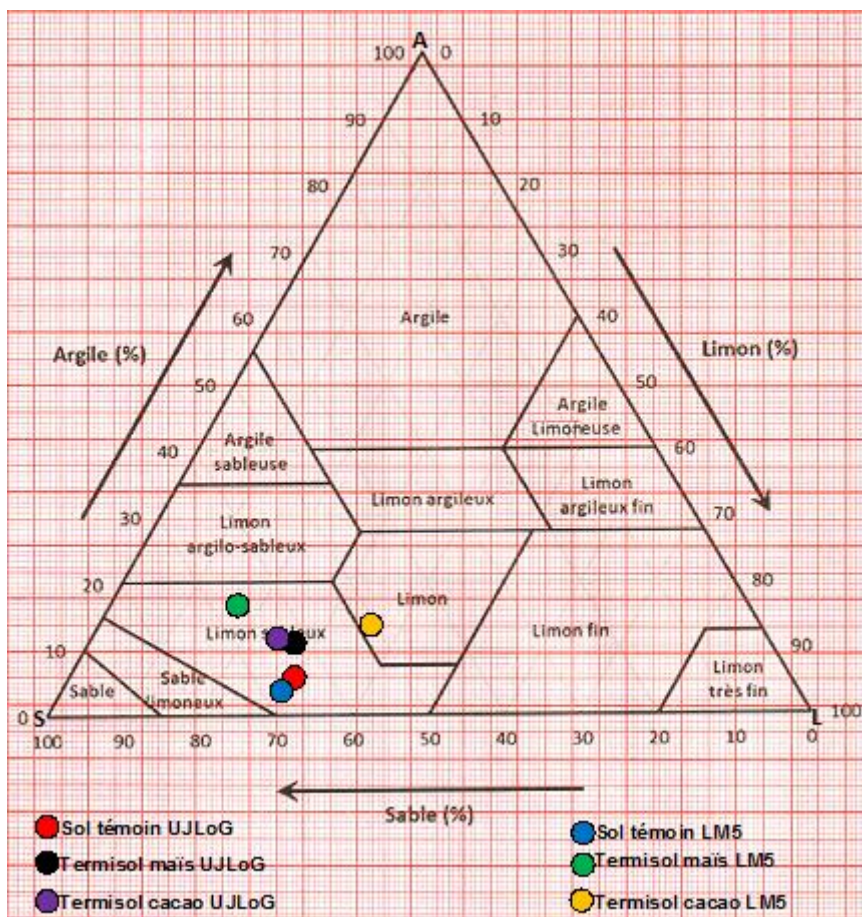


Figure 24 : Textures des sols des sites de production et des types de "Termisol" produits

5.4. Identification des termites impliqués dans la production du "Termisol"

Au total six genres de termites appartenant à la famille des Termitidae ont été récoltés sur les deux sites (Figure 25) avec des abondances variables (Tableau VII). Ces six genres se répartissent en trois sous-familles : Macrotermitinae, Nasutitermitinae et Termitinae (Tableau VII). Tous les six genres ont été échantillonnés à UJLoG contre seulement trois (3) au LM5.

Le genre *Pseudacanthotermes* a été identifié dans tous les pièges et dans la zone de dégradation libre à UJLoG et au LM5. Le genre *Ancistrotermes* a été identifié dans quatre pièges et dans la zone de digestion libre à UJLoG et dans cinq pièges du LM5. Le genre *Odontotermes* a été identifié dans deux pièges et la zone de digestion libre à UJLoG et dans un seul piège du site LM5. Sur le campus de l'UJLoG, le genre *Macrotermes* a été identifié dans cinq pièges, le genre *Trinervitermes* dans trois pièges et à l'air libre et le genre *Péricapritermes* dans un seul piège.

Sur les deux sites, trois groupes trophiques ont été identifiés. Ce sont les champignonnistes regroupant les genres *Ancistrotermes*, *Macrotermes*, *Odontotermes*, *Pseudacanthotermes* ; les fourrageurs constitués du genre *Trinervitermes* et les humivores représentés par les *Péricapritermes*.

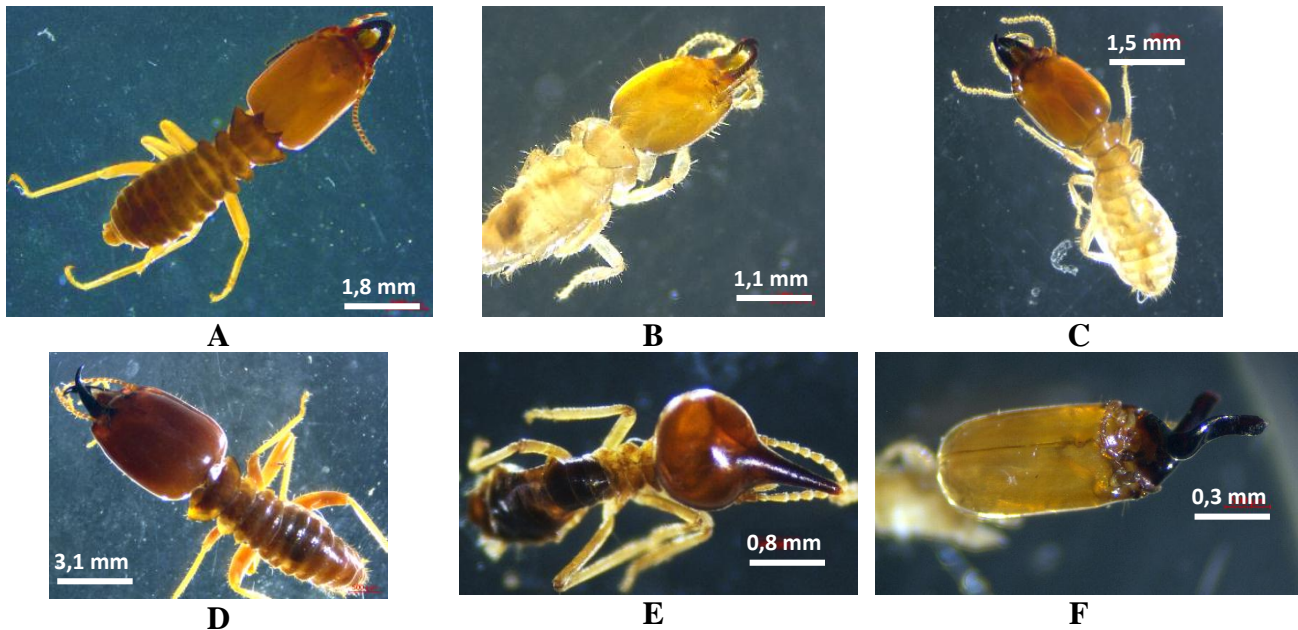


Figure 25 : Genres de termites impliqués dans la production du “Termisol”

A : *Pseudacanthotermes* ; B : *Ancistrotermes* ; C : *Odontotermes* ; D : *Macrotermes* ; E : *Trinervitermes* ; F : *Pericapritermes*

Tableau VII : Genres de termites récoltés dans les pièges sur les deux sites

Famille	Sous Familles	Genres	UJLoG		LM5		Groupes trophiques
			Pièges	Zone de collecte libre	Pièges	Zone de collecte libre	
Termitidae	Macrotermitinae	<i>Pseudacanthotermes</i>	+++	+ -	+++	+ -	Champignonnistes
		<i>Ancistrotermes</i>	++	+ -	++	-	
		<i>Odontotermes</i>	+	+ -	+ -	-	
	Nasutitermitinae	<i>Macrotermes</i>	++	-	-	-	Fourrageurs
		<i>Trinervitermes</i>	++	+ -	-	-	
		Termitinae	<i>Pericapritermes</i>	+	-	-	

- : Absence ; +- : Peu rencontré ; + : Modérément rencontré ; ++ : Abondant ; +++ : Très abondant, UJLoG : Université Jean Lorougnon Guédé ; LM5 : Lycée Moderne 5 de Daloa

5.5. Discussion

Les résultats ont mis en évidence la dégradation des résidus agricoles et la remontée de constituants minéraux fins du sol par les termites. Ce mélange constitue un substrat à composition organique et minérale dans le piège. La présence de fraction fine constituée de sable, de limon et d’argile se justifie par les besoins de protection du corps mou des termites lors de la récolte des ressources alimentaires sur les végétaux ou leurs débris (Grassé, 1950 ; Sileshi *et al.*, 2010). Dans le piège, les termites mélangent la matière minérale remontée à leurs

déjections constituant ainsi le produit résiduaire de leurs activités. C'est ce mélange, à diverses proportions dépendamment du genre de termites, qui constitue la partie visible d'une termitière dans la nature (Konaté, 1998). Dans le piège de la présente étude, les termites ont construit les galeries avec cette substance organominérale qui se retrouve mélangée au substrat non dégradé. La dégradation des résidus et la remontée minérale sont complémentaires dans la production du "Termisol". Les termites contrôlent donc la production de matière organique et le transfert de fractions fines minérales du sol dans le piège. Ces résultats confirment ainsi les travaux de Pomeroy (2005) et de Cheik *et al.* (2019) qui ont noté l'existence d'une relation positive entre les taux de dégradation de résidus et la remontée de terre dans la termitière. Ibrahim *et al.* (2018) ont quant à eux montré une forte corrélation significative entre la perte de masse des résidus et la population de termites suggérant une contribution substantielle des termites dans la dégradation de la matière organique. Toutefois, la dégradation comme la remontée de terre étaient faibles au départ du fait d'une colonisation progressive du piège et de l'habituation progressive des termites à leur zone de collecte et aux résidus (Soro *et al.*, 2021). En effet, les termites ont trouvé dans les pièges, des conditions d'humidité favorables à leur activité de collecte des ressources alimentaires. Les résultats sont conformes à ceux de Li *et al.* (2017) et Soro *et al.* (2021) qui ont montré que de relatives conditions d'humidité sont favorables à une meilleure croissance en nombre des termites. Ainsi, une forte activité de dégradation est couplée à une forte constitution de "Termisol" des termites et inversement. Cependant, la quantité de matière disponible pour les termites n'a eu aucun impact sur la quantité de "Termisol" élaborée par les termites. Ce résultat suggère que la faible quantité de résidus ne constitue pas en elle-même un facteur limitant l'activité des termites, mais que cette matière permet son initiation. Cependant, lorsque la quantité de résidus est suffisante, l'activité se fait et les deux (2) phénomènes se contrôlent mutuellement et, un manque de détritrus végétaux réduit la remontée minérale sans l'arrêter complètement.

Aussi, des quantités de "Termisol" plus faibles que la quantité de résidus dégradés ont été relevées sur le campus de l'Université. Dans ce cas, le substrat est plus riche en matière minérale, une bonne proportion de matière organique n'étant pas encore rejetée, car le termite la libère progressivement après un transit intestinal plus ou moins long (Bignell *et al.*, 1980). La terre fine remontée par les termites contribue à relever la teneur en argile et en limon du "Termisol". La teneur en argile a pu être multipliée par 2 dans le "Termisol" par rapport au sol témoin. Ce résultat confirme que les termites sont des ingénieurs de l'écosystème ayant la capacité de modifier l'environnement pour rendre disponibles les nutriments à d'autres organismes (Dosso & Koné, 2016). Leur activité de remontée minérale est plus orientée vers le

prélèvement de limon et d'argile, à activité fertilisante. En effet, l'intérêt des termites pour l'argile se justifierait par sa richesse en éléments nutritifs utiles pour ces arthropodes et par la fonction de lien facilitant la construction des galeries de la termitière (Jouquet *et al.*, 2002b).

Le statut organique du "Termisol" a globalement été bon que celui du sol témoin. Le taux de MO est plus élevé que celui du sol témoin comme ont pu observer Jouquet *et al.* (2002b) et Boga (2007) avec les matériaux de *Cubitermes* pris dans la nature. Ce résultat est confirmé par Rouland-Lefevre & Bignell (2001) et Roose *et al.* (2004) qui ont démontré que l'activité des termites accroît la teneur en matière organique dans le sol. Les termites participent ainsi à la décomposition de la matière organique et à l'évolution de la structure des sols (Jouquet *et al.*, 2002b ; Lachaud, 2002).

La CEC du "Termisol" a été plus élevée que celle du sol témoin. En effet, le complexe y a été plus riche. Cet enrichissement est le fait de la fraction fine (Argile + Limon) remontée et de la matière organique du piège qui reste liée à la qualité des résidus soumis aux termites. Ainsi, selon Kifukiéto (2014) l'augmentation de la capacité d'échange des cations dans les termitières semble due principalement à l'augmentation du taux d'argile alors que l'enrichissement en bases échangeables (Ca, Mg, K, Na) et phosphore proviennent de l'incorporation des fèces à la termitière. La MO et l'argile sont des substances à grandes surfaces spécifiques justifiant la meilleure qualité du complexe adsorbant du "Termisol".

L'enrichissement en phosphore du "Termisol" issu de l'activité des termites est en relation avec la dynamique de terre fine remontée des profondeurs du sol par les termites d'une part et la quantité de P contenu dans les résidus soumis aux termites d'autre part. En effet, les résidus de maïs et de cacao sont riches en phosphore et le transit intestinal favorise sa libération. Le phosphore est ainsi restitué dans les déjections du termite (Brauman & Fall, 1997). Kwabiah *et al.* (2003) ont signalé à juste titre que la libération du phosphore pendant la décomposition de la matière organique est positivement corrélée avec le contenu initial dans les résidus agricoles. La variation de la composition granulométrique du "Termisol" par rapport au sol du site de collecte suite à l'activité des termites traduit un enrichissement du produit résiduaire en argile et en limon. Toutefois, cet enrichissement ne traduit pas une diminution de la fraction grossière (sable), mais plutôt, une augmentation de la quantité d'argile et/ou de limon remontée dans les pièges. L'effet de ces remontées est double avec la possible réduction de l'infiltration et la dynamique des minéraux dans le sol (Jouquet *et al.*, 2011). Par ailleurs, l'enrichissement en A+L laisse entrevoir de meilleurs comportements physiques et chimiques des sous-produits de l'activité des termites.

La présence d'éléments colloïdaux (humus et argile) et de magnésium est source d'amélioration de la structure du sol pouvant avoir un effet sur l'amélioration de la capacité de rétention en eau. Cette double contribution physique et chimique du produit résiduaire en fait un amendement organominéral d'intérêt. Ainsi, l'apport du "Termisol" pourrait améliorer la biodisponibilité de certains minéraux et la stabilité structurale du sol (Baize, 2000 ; Dinon & Gerstmans, 2008).

Les termites récoltés dans les pièges appartiennent majoritairement au groupe trophique des champignonnistes qui établissent une relation symbiotique extradiigestive avec un champignon supérieur (Basidiomycètes) du genre *Termitomyces* (Guedegbe *et al.*, 2008). Cette relation faciliterait la dégradation des aliments justifiant ainsi leur installation dans presque tous les milieux. Ce résultat est conforme aux traits écologiques des genres concernés, à savoir *Pseudacanthotermes*, *Ancistrotermes*, *Odontotermes* et *Macrotermes* qui ont une capacité à s'adapter à divers milieux et ont des préférences alimentaires notablement variées (Konaté *et al.*, 2005 ; Dosso *et al.*, 2012). Les résultats sont aussi en accord avec ceux de Josens (1977) qui note que les termites champignonnistes sont les plus grands consommateurs de débris végétaux d'origine ligneuse et herbacée.

La grande diversité en termites du site UJLoG par rapport au site LM5 pourrait s'expliquer par l'état des sites. En effet, le site LM5 situé au centre-ville est un milieu fortement anthropisé comparé à UJLoG qui est une jeune jachère. Plusieurs travaux ont montré que les perturbations anthropiques et l'intensité de l'utilisation du sol ont pour résultat la diminution de la richesse en termites et la modification de l'assemblage des communautés de termites (Jones *et al.*, 2003 ; Olugbemi, 2013 ; Hausberger & Korb, 2016 ; Muvengwi *et al.*, 2017 ; Schyra & Korb, 2017). Cependant, la dégradation du milieu affecte moins les termites champignonnistes (Guedegbe *et al.*, 2008). Cette abondance pourrait aussi s'expliquer par les caractéristiques pédologiques du sol des différents sites car le pH et les conditions d'humidité ont été favorables à la vie des termites (Li *et al.*, 2017).

Le genre *Pseudacanthotermes* est plus actif que les autres genres sur les deux sites du fait qu'il a un régime plus diversifié. Une conséquence de cette activité des termites pourrait être un retour de la matière organique dans le sol (Jouquet *et al.*, 2011), via les fèces, la biomasse des termites et dans leurs structures biogéniques. Ainsi, le produit résiduaire de l'activité des termites est une substance organominérale à activité fertilisante du fait de ses bonnes propriétés physiques et chimiques.

Conclusion partielle

En remontant des profondeurs du sol des éléments fins (A+L) mélangés à la matière organique issue de la dégradation des résidus qui ont amélioré la qualité du complexe, les termites ont produit une substance à activité fertilisante dénommée ‘‘Termisol’’ dont l’évaluation agronomique est faite aux chapitres suivants. Le rôle des termites dans la fertilité des sols a été confirmé dans cette étude.

L’étude a également permis d’identifier cinq genres de termites qui seraient les principaux agents dans la production du ‘‘Termisol’’. Ce sont les genres : *Ancistrotermes*, *Macrotermes*, *Odontotermes*, *Pseudacanthotermes* et *Trinervitermes*. Cette diversité de termites est liée à l’état de dégradation des sites. Les termites peuvent ainsi contribuer à la restauration des sols dégradés par la dégradation des sous-produits agricoles.

Chapitre 6 : Évaluation agronomique du produit résiduaire de termitières en riziculture pluviale

Introduction partielle

Ce chapitre présente les résultats de l'évaluation agronomique du "Termisol" en riziculture pluviale. Il s'est agi d'amender le sol d'une parcelle paysanne avec différentes doses de "Termisol" et de collecter les paramètres de croissance et de production du riz pendant deux cycles de culture.

6.1. Pluviométrie de la zone de production de 2018 - 2019

Les données des précipitations mensuelles durant la période (2018 - 2019), ont montré une variabilité dans la fréquence et la quantité d'eau qui est tombée (Figure 26). En effet, il est tombé 1155 mm d'eau en 2018 et 1400 mm en 2019 pour 115 et 114 jours de pluie respectivement (Annexe 2). Le régime pluviométrique a semblé varier entre 2018 et 2019.

Deux (2) saisons de pluie ont été observées en 2018. La première part de mars à juin avec un pic en juin et la seconde d'août à octobre avec un pic en septembre. Les deux saisons sèches sont de novembre à février (grande saison sèche) et juillet (petite saison sèche).

L'année 2019 a présenté une saison sèche et une saison de pluies. La saison des pluies a couru de mars à novembre en 2019 et la saison sèche de décembre à février.

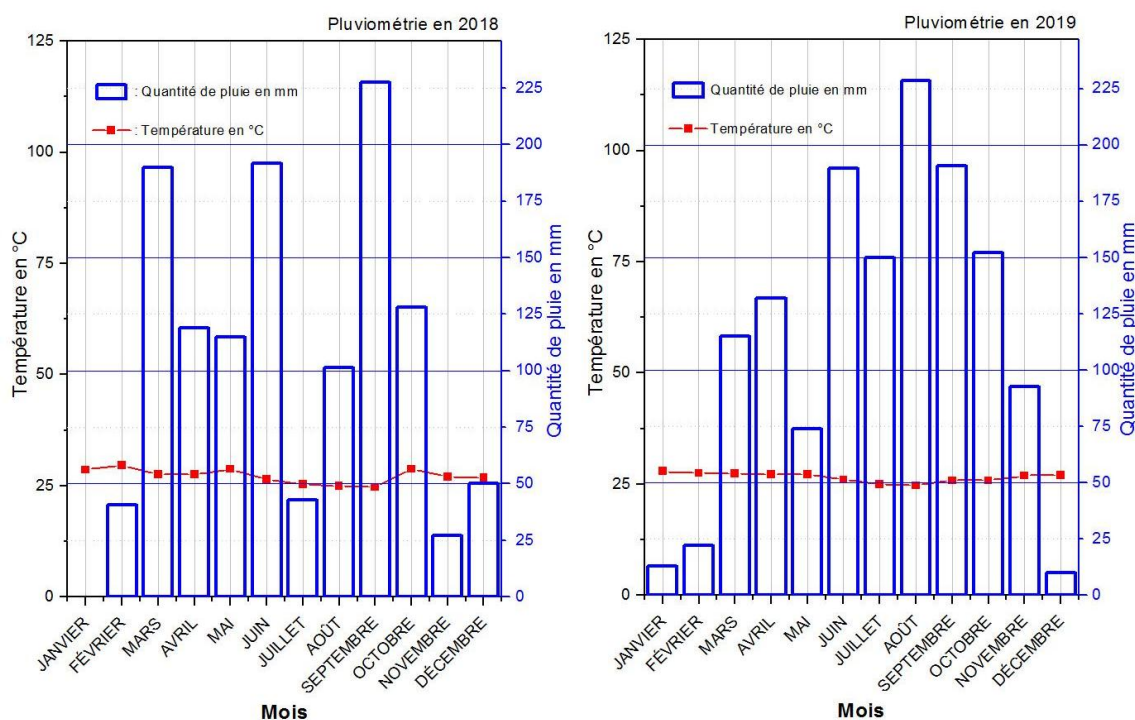


Figure 26 : Diagrammes ombrothermiques de 2018 et 2019 dans la zone (Anader Daloa, 2019)

Les mois de septembre et août ont été les plus pluvieux en 2018 et 2019 respectivement. Les périodes de production sont allées de septembre 2018 à février 2019 pour le cycle 1 et de juin 2019 à novembre 2019 pour le cycle 2. La pluviométrie durant ces périodes a été également très variable, cumulant 370 mm pour 48 jours de pluies en 2018 et 670 mm pour 79 jours pluvieux en 2019.

6.2. Caractérisation morpho-pédologique du site agricole

Le premier profil du sol à mi - versant a présenté quatre horizons (Figure 27 A).

A11 : 0 à 6/7 cm, horizon frais avec une imprégnation de matière organique de couleur 10 YR 4/1 (gris foncé), de texture sablo-argileuse sans éléments grossiers, à structure grumeleuse. Il est meuble, très poreux. Cet horizon est parcouru par de nombreuses racines de taille millimétrique d'orientation subhorizontale et présente un bon drainage. L'horizon A11 a une limite régulière, une transition diffuse.

A12 : 6/7 cm à 12,3/13,1 cm, est frais et peu humifère de couleur 10 YR 5/4 (marron jaunâtre), sans éléments grossiers. Cet horizon a une texture sablo-argileuse, une structure grumeleuse à agrégats arrondis, est meuble et poreux. Il renferme quelques racines de taille millimétrique à orientation subhorizontale et présente un bon drainage. L'horizon A12 a une limite régulière et une transition diffuse.

A13 : Il s'étend de 12,3/13,1 cm à 40/48,3 cm. Horizon frais de couleur 10 YR 6/6 (brun jaune claire), à texture sablo-argileuse sans éléments grossiers et une structure massive à agrégats polyédriques subanguleux. Il est peu compact et peu poreux. Cet horizon est parcouru par quelques racines de taille millimétrique d'orientation subhorizontale et présente un bon drainage. L'horizon A13 a une limite irrégulière et une transition diffuse.

B : Cet horizon s'étend au-delà de 40/48,3 cm. Celui-ci est frais de couleur 10 YR 6/6 (brun jaune claire) à texture argileuse avec 20 à 25% d'éléments grossiers, de structure massive à agrégats polyédriques subanguleux. Il est peu compact, peu poreux et parcouru par de rares racines de taille millimétrique d'orientation verticale. Cet horizon présente un bon drainage.

Le sol du premier profil est un sol ferrallitique faiblement remanié (Ferralsol plinthique).

Le deuxième profil du sol situé en bas de versant a présenté quatre (4) horizons (Figure 27 B).

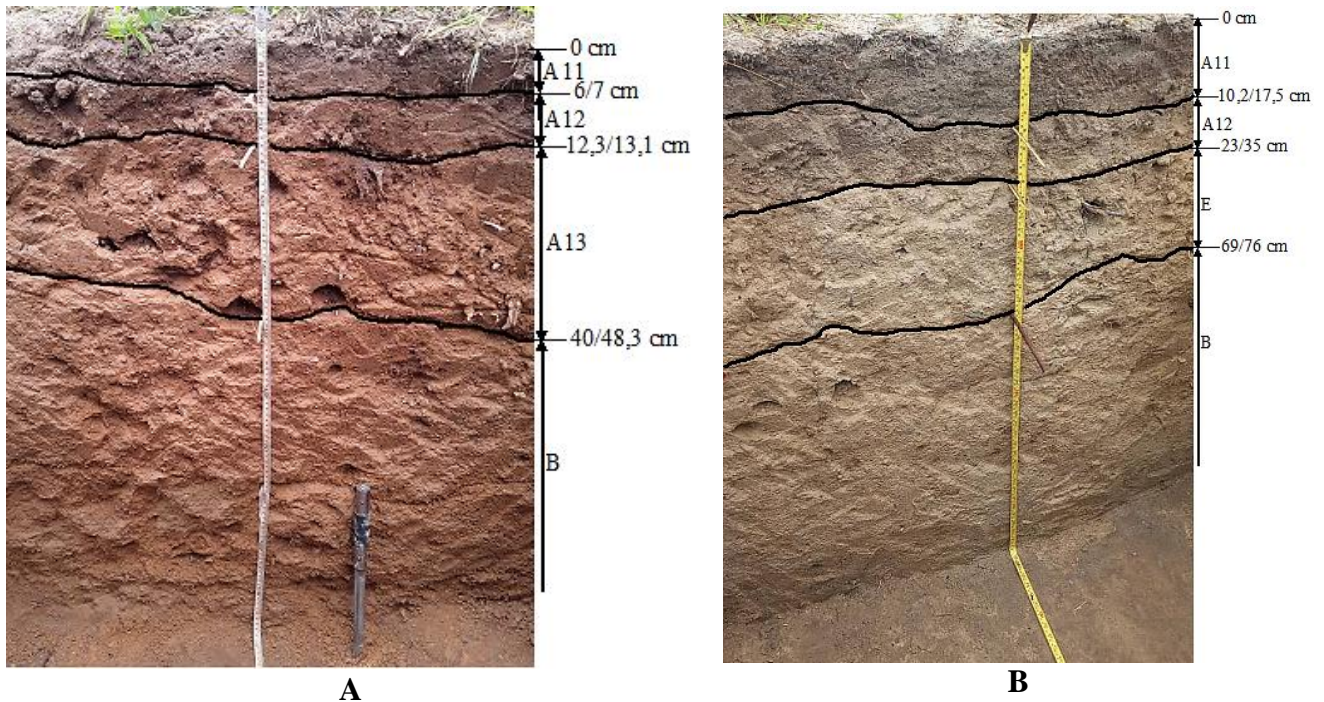


Figure 27 : Profils de sol du site d'étude
A : Profil de mi-versant ; B. profil de bas de versant

A11 s'étend de 0 à 10,2/17,5 cm. C'est un horizon frais de couleur 10 YR 4/1 (gris sombre), à texture sableuse avec peu (< 5 %) d'éléments grossiers quartzeux, à structure grumeleuse et humifère. Il est peu compact, poreux et parcouru par de nombreuses racines de taille millimétrique d'orientation subhorizontale. Cet horizon est filtrant, a une limite irrégulière et une transition diffuse.

A12 : Il s'étend de 10,2/17,5 cm à 23/35 cm. Frais de couleur 10 YR 6/1 (gris), de texture sableuse avec peu d'éléments grossiers (< 10%) et de structure particulaire. Il est peu compact, poreux et filtrant. Cet horizon parcouru par quelques racines de taille millimétrique d'orientation subhorizontale a une limite irrégulière et une transition diffuse.

E : Cet horizon s'étend de 23/35 cm à 69/76 cm. C'est un horizon frais de couleur 10 YR 6/2 (gris brun claire), à texture sableuse avec un taux d'éléments grossiers < 15%, à structure particulaire. Il est peu compact, poreux et est parcouru par de rares racines de taille millimétrique d'orientation verticale. Cet horizon est filtrant, a une limite irrégulière et une transition diffuse.

B s'étend au-delà de 69/76 cm. C'est un horizon humide, de couleur 10 YR 6/2 (gris brun claire), de texture sableuse avec 20 à 25% d'éléments grossiers et de structure particulaire. Il est peu compact et poreux. Cet horizon est filtrant.

Le site d'étude est situé sur le sol du deuxième profil. Ce sol est essentiellement sableux en surface avec une activité biologique moyenne. Les différents horizons ont un drainage interne fort, sont poreux et peu compacts. C'est un sol ferrallitique faiblement remanié (Ferralsol plinthique).

6.3. Effet du "Termisol" sur la croissance et la production du riz pluvial

L'effet du "Termisol" sur la croissance des plants de riz est variable selon que l'observation est portée sur le développement des organes ou sur la production de matière sèche (Tableaux VIII et IX).

6.3.1. Effet de la dose de "Termisol" sur la hauteur des plants de riz

Aucune différence significative n'a été observée entre les traitements pour la hauteur des plants de riz quel que soit le cycle de culture (Tableau VIII). Toutefois, la hauteur moyenne des plantes a globalement varié entre 31,33±2,47 cm (1%Termisol, cycle 2) et 67,43±1,95 cm (6%Termisol, cycle 1). Entre ces deux valeurs extrêmes, les plantes des traitements Termisol à 3 %, 5 % ont atteint des hauteurs respectives de 63,80±1,50 cm et 64,56±0,62 cm au cycle 1.

Tableau VIII : Variation du nombre de feuilles, de la surface foliaire et de la hauteur du riz au cours des deux cycles

Traitements	Paramètres de croissance					
	Nf43/plte		Surfol (cm ²)		Haut (cm)	
	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 1	Cycle 2
ZéroF	5,11±0,29 ^a	5,27±0,53 ^a	43,05±1,94 ^a	25±0,96 ^c	58,46±5,50 ^a	32,53±3,62 ^a
1%Termisol	5,34±0,12 ^a	5,37±0,27 ^a	43,14±3,22 ^a	29,35±3,49 ^{bc}	61,03±1,57 ^a	31,33±2,47 ^a
2%Termisol	5,30±0,26 ^a	5,68±0,38 ^a	50,74±17,76 ^a	35,09±3,07 ^{abc}	61,11±1,46 ^a	35,08±5,42 ^a
3%Termisol	5,55±0,33 ^a	5,72±0,62 ^a	53,24±9,36 ^a	29,16±4,88 ^{bc}	63,80±1,50 ^a	39,57±10,39 ^a
4%Termisol	5,31±0,10 ^a	5,60±0,58 ^a	56,11±10,48 ^a	33,98±11,62 ^{abc}	63,62±1,62 ^a	37,73±4,98 ^a
5%Termisol	4,77±0,44 ^a	5,58±0,56 ^a	53,61±14,07 ^a	43,61±3,63 ^{ab}	64,56±0,62 ^a	38,49±4,77 ^a
6%Termisol	5,16±0,18 ^a	6,35±0,09 ^a	54,16±9,05 ^a	48,24±4,78 ^a	67,43±1,95 ^a	47,60±4,04 ^a
NPK	5,09±0,30 ^a	5,47±0,15 ^a	44,35±2,85 ^a	33,88±2,37 ^{abc}	62,70±5,20 ^a	38,57±4,48 ^a
TermNat	5,06±0,27 ^a	5,56±0,43 ^a	46,85±10,35 ^a	24,81±0,32 ^c	59,05±6,77 ^a	34,07±8,52 ^a
Fiente	4,93±0,31 ^a	5,91±0,25 ^a	43,98±8,95 ^a	30,46±11,60 ^{bc}	62,44±5,99 ^a	43,53±2,80 ^a
CV	0,0605	0,0802	0,1949	0,2603	0,0652	0,1749
Pvalue	0,1108	0,2073	0,6217	0,0017	0,2566	0,0559
Effet	ns	ns	ns	**	ns	ns

Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % pour le Test de Newman-Keuls ; **différence hautement significative P < 0,01 ; ns : Différence non significative P > 0,05 ; CV : Coefficient de variation ; TermNat : Termitière naturelle ; ZéroF : Témoin sans fertilisant ; Nf43 : nombre de feuilles à 43 jours après semis ; Surfol : surface foliaire ; Haut : hauteur à 75 jours après semis.

Les plantes des traitements ZéroF et TermNat sont légèrement plus grandes que celles du traitement 1%Termisol avec respectivement $32,53\pm 3,62$ cm et $34,07\pm 8,52$ cm au cycle 2. Globalement, les plantes ont été de plus grandes tailles au cycle 1.

6.3.2. Effet de la dose de "Termisol" sur le nombre de feuilles à 43 jas

Le nombre moyen de feuilles a globalement varié entre $4,77\pm 0,44$ feuilles (5% Termisol, cycle 1) et $6,35\pm 0,09$ feuilles (6% Termisol, cycle 2) sans effet significatif ($P > 0,05$) (Tableau VIII). Entre ces deux extrêmes, les traitements 3% Termisol et Fiente ont obtenu respectivement $5,72\pm 0,62$ et $5,91\pm 0,25$ feuilles au cycle 2. Les traitements Fiente et TermNat ont eu respectivement des nombres de feuilles de $4,93\pm 0,31$ et $5,06\pm 0,27$ feuilles au cycle 1.

6.3.3. Effet de la dose de "Termisol" sur la surface foliaire

La surface foliaire des plants de riz a varié de façon hautement significative au cycle 2 ($P < 0,01$) entre les traitements (Tableau VIII). Elle a varié entre $24,81\pm 0,32$ cm² sur le traitement TermNat au cycle 2 et $56,11\pm 10,48$ cm² au traitement 4% Termisol (cycle 1). Les traitements 5% Termisol et 6% Termisol ont présenté des surfaces foliaires respectives de $53,61\pm 14,07$ cm² et $54,16\pm 9,05$ cm² au cycle 1 en dessous de 4% Termisol du même cycle. Les traitements ZéroF et 3% Termisol ont eu quant à eux des surfaces foliaires justes plus grandes que celle du traitement TermNat, la plus faible au cycle 2.

6.3.4. Effet de la dose de "Termisol" sur la production de biomasse sèche chez le riz

La dose de fertilisant a eu un effet hautement significatif ($P < 0,01$) sur la production de matière sèche au cycle 2 (Tableau IX).

La biomasse aérienne a été plus importante sur les traitements 6% Termisol ($18,06\pm 5,34$ g), 2% Termisol ($19,45\pm 10,78$ g) et 4 % Termisol ($19,84\pm 7,26$ g) au cycle 1. Les quantités de matière sèche les plus faibles ont été enregistrées sur les traitements ZéroF, 1% Termisol et TermNat avec les valeurs de $2,17\pm 0,43$ g ; $4,19\pm 0,96$ g et $5,15\pm 0,98$ g respectivement au cycle 2. La matière sèche aérienne a été plus abondante au cycle 1.

La biomasse racinaire a varié entre $0,44\pm 0,03$ g (ZéroF, cycle 2) et $1,43\pm 0,46$ g (4% Termisol, cycle 1). Entre ces deux valeurs, les traitements Termisol à 6 % (cycle 2) et 2 % (cycle 1) ont atteint des quantités de matière sèche de $1,37\pm 0,24$ g et $1,41\pm 0,59$ g. Les traitements TermNat et 1% Termisol ont présenté de faibles biomasses avec les valeurs de $0,65\pm 0,15$ g et $0,68\pm 0,13$ g respectivement au cycle 2 plus élevées que celle du traitement ZéroF du même cycle mais avec une différence hautement significative entre ces 3 traitements. La biomasse totale des

plantes évolue similairement à la biomasse de la partie aérienne. À l'exception du traitement 6% Termisol et du NPK, la proportion de matière sèche racinaire a été plus forte au cycle 1.

Tableau IX : Variation de la biomasse du riz pendant deux cycles de culture selon la dose de fertilisant

Traitements	Paramètres de croissance					
	MsPE (g)		MsTF (g)		MsRac (g)	
	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 1	Cycle 2
ZéroF	14,69±2,25 ^a	2,63±0,41 ^b	13,45±2,17 ^a	2,17±0,43 ^c	1,18±0,08 ^a	0,44±0,03 ^b
1%Termisol	14,7±2,90 ^a	4,89±1,08 ^{ab}	13,39±2,83 ^a	4,19±0,96 ^{de}	1,24±0,07 ^a	0,68±0,13 ^b
2%Termisol	20,94±11,40 ^a	6,18±1,64 ^{ab}	19,45±10,78 ^a	5,44±1,52 ^{bcd}	1,41±0,59 ^a	0,75±0,12 ^b
3%Termisol	16,02±0,83 ^a	9,01±2,52 ^{ab}	14,72±0,78 ^a	8,06±2,33 ^{abc}	1,25±0,08 ^a	0,94±0,19 ^{ab}
4%Termisol	21,32±7,75 ^a	8,97±3,12 ^{ab}	19,84±7,26 ^a	7,99±2,95 ^{abc}	1,43±0,46 ^a	0,99±0,19 ^{ab}
5%Termisol	15,55±2,98 ^a	9,89±3,21 ^a	14,33±2,80 ^a	8,91±3,07 ^{ab}	1,18±0,22 ^a	0,98±0,15 ^{ab}
6%Termisol	19,34±5,45 ^a	11,50±1,60 ^a	18,06±5,34 ^a	10,15±1,47 ^a	1,26±0,18 ^a	1,37±0,24 ^a
NPK	14,52±0,87 ^a	7,86±2,41 ^{ab}	13,62±0,66 ^a	6,92±2,21 ^{abcd}	0,88±0,22 ^a	0,92±0,26 ^{ab}
TermNat	14,07±1,39 ^a	5,81±1,16 ^{ab}	13,14±1,33 ^a	5,15±0,98 ^{cde}	0,95±0,20 ^a	0,65±0,15 ^b
Fiente	14,89±2,14 ^a	7,39±3,84 ^{ab}	13,80±2,03 ^a	6,55±3,51 ^{abcd}	1,05±0,21 ^a	0,84±0,32 ^b
CV	0,2937	0,4224	0,3004	0,4385	0,2430	0,3336
Pvalue	0,5098	0,0069	0,5144	0,0084	0,3553	0,0017
Effet	ns	**	ns	**	ns	**

Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % pour le Test de Newman-Keuls ; * différence significative $P < 0,05$; ** : différence hautement significative $P < 0,01$; ns : Différence non significative $P > 0,05$; CV : Coefficient de variation ; TermNat : Termitière naturelle ; ZéroF : Témoin sans fertilisant ; MsPE : biomasse de la plante entière à 75 jours après semis ; MsTF : biomasse aérienne à 75 jours après semis ; MsRac : biomasse racinaire à 75 jours après semis.

6.3.5. Cumul des deux cycles sur le développement des organes

Sur le cumul des deux cycles (Tableau X), aucun effet significatif ($P > 0,05$) n'est observé entre les traitements pour le nombre de feuilles à 43 jas et la biomasse sèche racinaire. Cependant, une différence hautement significative ($P < 0,01$) est observée entre les traitements pour la surface foliaire, la hauteur des plantes de riz, la biomasse sèche de la plante entière et la biomasse sèche aérienne. Le nombre moyen de feuilles a globalement varié entre 5,18±0,63 feuilles (5%Termisol) et 5,76±0,66 feuilles (6%Termisol) et la hauteur moyenne des plantes entre 45,49±14,80 cm (ZéroF) et 57,51±11,22 cm (6%Termisol). La surface foliaire a quant à elle, varié entre 34,02±9,98 cm² pour ZéroF et 51,20±7,24 cm² pour 6%Termisol. Les biomasses aérienne et racinaire ont atteint les valeurs maximales respectives de 14,10±5,57 et 1,32±0,20 g sur le traitement 6%Termisol et les valeurs minimales de 7,81±6,33 g sur le traitement ZéroF et 0,80±0,23 g sur le traitement TermNat. L'apport de 6% de Termisol a permis d'atteindre les meilleurs niveaux de croissance et de production de matière sèche.

Tableau X : Variation des paramètres de croissance en fonction des doses de fertilisants (moyenne des 2 cycles).

Traitements	Nf43/plte	Surfol (cm ²)	Haut (cm)	MsPE (g)	MsRac (g)	MsTF (g)
ZéroF	5,19±0,39 ^a	34,02±9,98 ^c	45,49±14,80 ^b	8,66±6,67 ^c	0,81±0,41 ^a	7,81±6,33 ^c
1% Termisol	5,36±0,19 ^a	36,25±8,13 ^{ab}	46,18±16,37 ^b	9,79±5,71 ^{bc}	0,96±0,32 ^a	8,79±5,38 ^{bc}
2% Termisol	5,48±0,36 ^a	42,91±14,26 ^{abc}	48,10±14,69 ^b	13,56±10,88 ^{ab}	1,08±0,52 ^a	12,44±10,31 ^{ab}
3% Termisol	5,64±0,46 ^a	41,20±14,78 ^{abc}	51,69±14,84 ^{ab}	12,51±4,18 ^{ab}	1,09±0,21 ^a	11,39±3,96 ^{ab}
4% Termisol	5,46±0,40 ^a	45,04±15,65 ^{abc}	50,68±14,55 ^{ab}	15,15±8,58 ^{ab}	1,21±0,40 ^a	13,92±8,16 ^{ab}
5% Termisol	5,18±0,63 ^a	48,61±10,70 ^{ab}	51,52±14,60 ^{ab}	12,72±4,16 ^{ab}	1,08±0,20 ^a	11,62±3,96 ^{ab}
6% Termisol	5,76±0,66 ^a	51,20±7,24 ^a	57,51±11,22 ^a	15,42±5,59 ^a	1,32±0,20 ^a	14,10±5,57 ^a
NPK	5,28±0,30 ^a	39,12±6,19 ^{abc}	50,64±13,91 ^{ab}	11,19±3,99 ^{ab}	0,90±0,22 ^a	10,27±3,95 ^{ab}
TermNat	5,31±0,42 ^a	35,83±13,73 ^{bc}	46,56±15,31 ^b	9,94±4,67 ^{abc}	0,80±0,23 ^a	9,14±4,50 ^{ab}
Fiente	5,42±0,59 ^a	37,22±11,86 ^{bc}	52,98±11,17 ^{ab}	11,14±4,96 ^{ab}	0,95±0,27 ^a	10,17±4,72 ^{ab}
CV	0,085	0,2914	0,2684	0,5126	0,3229	0,5338
Pvalue	0,1590	0,0026	0,0062	0,0003	0,0880	0,0002
Effet	ns	**	**	***	ns	***

Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % pour le Test de Newman-Keuls ; **différence hautement significative P < 0,01 ; ***différence très hautement significative P < 0,001 ; ns : Différence non significative P > 0,05 ; CV : Coefficient de variation ; TermNat : Termitière naturelle ; ZéroF : sans fertilisant ; Nf43 : nombre de feuilles à 43 jours après semis ; Surfol : surface foliaire ; Haut : hauteur à 75 jours après semis ; MsPE : biomasse sèche plante entière ; MsRac : biomasse sèche racinaire à 75 jours après semis ; MsTF : biomasse sèche aérienne 75 jours après semis.

6.3.6. Effet du type de fertilisant sur la croissance du riz

6.3.6.1. Effet du type de fertilisant sur la hauteur du plant

Le type de fertilisant n'a pas eu d'effet significatif (P > 0,05) sur la hauteur des plants quel que soit le cycle (Tableau XI). Toutefois, les plantes des traitements Termisol, NPK et Fiente ont présenté des hauteurs respectives de 63,59±0,82 cm ; 62,70±5,20 cm et 62,44±5,99 cm au cycle 1. Les traitements ZéroF (cycle 2) et TermNat (cycle 2) ont présenté des valeurs de 32,53±3,62 cm et 34,07±8,52 cm respectivement. Le cycle 1 a permis une meilleure croissance des plants quel que soit le type de fertilisant.

6.3.6.2. Effet du type de fertilisant sur le nombre de feuilles chez le riz

Le type de fertilisant n'a pas eu d'effet significatif (P > 0,05) sur le nombre de feuilles à 43 jours quel que soit le cycle (Tableau XI). Toutefois, le nombre moyen de feuilles a globalement varié entre 4,93±0,31 feuilles (Fiente, cycle 1) et 5,91±0,25 feuilles (Fiente, cycle 2). Le TermNat (cycle 1) et le NPK (cycle 1) ont présenté des valeurs de nombres de feuilles après la Fiente (cycle 1) respectives de 5,06±0,27 et 5,09±0,30 feuilles par plant.

6.3.6.3. Effet du type de fertilisant sur la surface foliaire du riz

L'effet du type de fertilisant est non significatif ($P > 0,05$) sur la surface foliaire quel que soit le cycle (Tableau XI). Cependant, la surface foliaire a varié entre $24,81 \pm 0,32 \text{ cm}^2$ pour le TermNat au cycle 2 et $51,83 \pm 6,35 \text{ cm}^2$ pour "Termisol" au cycle 1. Le TermNat et le NPK avec respectivement $46,85 \pm 10,35 \text{ cm}^2$ et $44,35 \pm 2,85 \text{ cm}^2$ au cycle 1 viennent juste après. La surface foliaire a été plus grande au cycle 1 pour tous les types de fertilisants. Le cycle n'a pas eu d'effet sur le nombre de feuilles, la hauteur et la surface foliaire.

Tableau XI : Variation des paramètres de croissance du riz sur deux cycles de culture selon le type de fertilisant apporté

Paramètres	Termisol	Fiente	NPK	TermNat	ZéroF	CV	P	Effet
Cycle 1								
Nf43/plte	5,24±0,19 ^a	4,93±0,31 ^a	5,09±0,30 ^a	5,06±0,27 ^a	5,11±0,29 ^a	0,0490	0,747	ns
Surfol (cm ²)	51,83±6,35 ^a	43,98±8,95 ^a	44,35±2,85 ^a	46,85±10,35 ^a	43,05±1,94 ^a	0,1409	0,559	ns
Haut (cm)	63,59±0,82 ^a	62,44±5,99 ^a	62,70±5,20 ^a	59,05±6,76 ^a	58,46±5,50 ^a	0,0782	0,684	ns
MsTF(g)	16,63±4,07 ^a	13,80±2,03 ^a	13,62±0,66 ^a	13,14±1,33 ^a	13,45±2,17 ^a	0,1630	0,411	ns
MsRac (g)	1,29±0,18 ^a	1,05±0,21 ^a	0,88±0,22 ^a	0,95±0,20 ^a	1,18±0,08 ^a	0,2006	0,116	ns
MsPE (g)	17,98±4,27 ^a	14,89±2,14 ^a	14,52±0,87 ^a	14,07±1,39 ^a	14,69±2,25 ^a	0,1611	0,367	ns
Cycle 2								
Nf43/plte	5,72±0,23 ^a	5,91±0,25 ^a	5,47±0,15 ^a	5,56±0,43 ^a	5,27±0,53 ^a	0,064	0,288	ns
Surfol (cm ²)	36,57±2,87 ^a	30,46±11,60 ^a	33,88±2,37 ^a	24,81±0,32 ^a	25±0,96 ^a	0,215	0,087	ns
Haut (cm)	38,30±2,56 ^a	43,53±2,80 ^a	38,57±4,48 ^a	34,07±8,52 ^a	32,53±3,62 ^a	0,148	0,127	ns
MsTF(g)	7,46±0,12 ^a	6,55±3,51 ^{ab}	6,92±2,21 ^{ab}	5,15±0,98 ^{ab}	2,17±0,43 ^b	0,4356	0,043	*
MsRac (g)	0,95±0,03 ^a	0,84±0,32 ^a	0,92±0,26 ^a	0,65±0,15 ^a	0,44±0,03 ^a	0,3289	0,053	ns
MsPE (g)	8,41±0,14 ^a	7,39±3,84 ^{ab}	7,86±2,41 ^{ab}	5,81±1,16 ^{ab}	2,63±0,41 ^b	0,4207	0,043	*

Les moyennes suivies de la même lettre dans la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % pour le Test de Newman-Keuls ; * différence significative $P < 0,05$; ns : Différence non significative $P > 0,05$; CV : Coefficient de variation ; TermNat : Termitière naturelle ; ZéroF : Témoin sans fertilisant ; Nf43 : nombre de feuilles à 43 jours après semis ; Surfol : surface foliaire ; Haut : hauteur à 75 jours après semis ; MsPE : biomasse de la plante entière à 75 jours après semis ; MsTF : biomasse aérienne à 75 jours après semis ; MsRac : biomasse racinaire à 75 jours après semis.

6.3.6.4. Effet du type de fertilisant sur la production de biomasse chez le riz

L'effet du type de fertilisant est significatif ($P < 0,05$) au cycle 2 sur la quantité de matière sèche aérienne et la matière sèche de la plante entière (Tableau XI). La biomasse aérienne a varié entre $2,17 \pm 0,43 \text{ g}$ sans fertilisant (ZéroF) au cycle 2 et $16,63 \pm 4,07 \text{ g}$ au cycle 1 avec le "Termisol". La termitière naturelle et la fiente ont présenté les plus faibles biomasses avec les valeurs de $5,15 \pm 0,98 \text{ g}$ et $6,55 \pm 3,51 \text{ g}$ au cycle 2 après le témoin sans fertilisant (ZéroF, cycle 2). La biomasse racinaire quant à elle a varié entre $0,44 \pm 0,03 \text{ g}$ sans fertilisant (ZéroF) au cycle 2 et $1,29 \pm 0,18 \text{ g}$ au cycle 1 avec le "Termisol". La termitière naturelle et la fiente ont présenté

les plus faibles biomasses racinaires avec les valeurs de $0,65 \pm 0,15$ g et $0,84 \pm 0,32$ g au cycle 2 après le témoin sans fertilisant (ZéroF, cycle 2).

Le type de fertilisant a invariablement affecté le cycle 1 pour les paramètres de croissance. Cependant, au cycle 2, seules les biomasses de la plante entière et de la partie aérienne présentent une différence significative ($P < 0,05$).

6.3.6.5. Cumul des deux cycles sur le développement des organes

Sur le cumul des deux cycles, aucun effet significatif ($P > 0,05$) n'est observé entre les traitements pour le nombre de feuilles à 43 jas, la hauteur des plantes de riz et la biomasse sèche racinaire (Tableau XII). Cependant, une différence significative ($P < 0,05$) est observée entre les traitements pour la surface foliaire et une différence très hautement significative ($P < 0,001$) est observée pour la biomasse sèche de la plante entière et la biomasse sèche aérienne. Le nombre moyen de feuilles a varié entre $5,19 \pm 0,39$ feuilles (ZéroF) et $5,48 \pm 0,32$ feuilles ("Termisol") et la hauteur moyenne des plantes entre $45,49 \pm 14,80$ cm (ZéroF) et $52,98 \pm 11,17$ cm (Fiente). La surface foliaire a quant à elle, varié entre $34,02 \pm 9,98$ cm² pour ZéroF et $44,20 \pm 9,45$ cm² pour le "Termisol". Les biomasses aérienne et racinaire ont atteint les valeurs maximales respectives de $12,04 \pm 5,64$ et $1,12 \pm 0,22$ g sur le traitement le "Termisol" et les valeurs minimales de $7,81 \pm 6,33$ et $0,81 \pm 0,41$ g sur le traitement ZéroF.

Tableau XII : Variation des paramètres de croissance en fonction des types de fertilisants (moyenne de 2 cycles).

Traitements	Nf43/plte	Surfol (cm ²)	Haut (cm)	MsPE (g)	MsRac (g)	MsTF (g)
Termisol	$5,48 \pm 0,32^a$	$44,20 \pm 9,45^a$	$50,95 \pm 13,95^a$	$13,19 \pm 5,89^a$	$1,12 \pm 0,22^a$	$12,04 \pm 5,64^a$
Fiente	$5,42 \pm 0,59^a$	$37,22 \pm 11,86^{ab}$	$52,98 \pm 11,17^a$	$11,14 \pm 4,96^{ab}$	$0,95 \pm 0,27^a$	$10,17 \pm 4,72^{ab}$
NPK	$5,28 \pm 0,30^a$	$39,12 \pm 6,19^{ab}$	$50,64 \pm 13,91^a$	$11,19 \pm 3,99^{ab}$	$0,90 \pm 0,22^a$	$10,27 \pm 3,95^{ab}$
TermNat	$5,31 \pm 0,42^a$	$35,83 \pm 13,73^b$	$46,56 \pm 15,31^a$	$9,94 \pm 4,67^b$	$0,80 \pm 0,23^a$	$9,14 \pm 4,50^b$
ZeroF	$5,19 \pm 0,39^a$	$34,02 \pm 9,98^b$	$45,49 \pm 14,80^a$	$8,66 \pm 6,76^b$	$0,81^a$	$7,81 \pm 6,33^b$
CV	0,0746	0,2690	0,2637	0,4716	0,3051	0,4917
P	0,5455	0,0418	0,0932	0,0005	0,0610	0,0003
Effet	ns	*	ns	***	ns	***

Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % pour le Test de Newman-Keuls ; * différence significative $P < 0,05$; ***différence très hautement significative $P < 0,001$; ns : Différence non significative $P > 0,05$; CV : Coefficient de variation ; TermNat : Termitière naturelle ; ZéroF : Témoin sans fertilisant ; Nf43 : nombre de feuilles à 43 jours après semis ; Surfol : surface foliaire ; Haut : hauteur à 75 jours après semis ; MsPE : biomasse de la plante entière à 75 jours après semis ; MsTF : biomasse aérienne à 75 jours après semis MsRac : biomasse racinaire à 75 jours après semis.

6.4. Effet du "Termisol" sur la productivité du riz

Les résultats relatifs aux paramètres de production du riz présentent des différences à divers niveaux de significativité entre les traitements pour la moyenne des deux cycles de production

(Tableau XIII). Seul le nombre de talles infertiles n'a pas été influencé par la dose du fertilisant. Le poids des 1000 grains a varié de façon significative ($P < 0,05$), le nombre total de talles et les rendements frais et sec de façon hautement significative ($P < 0,01$) tandis que le nombre de talles fertiles et l'humidité du grain à la récolte ont varié de façon très hautement significative ($P < 0,001$). En ce qui concerne le nombre total de talles, les traitements à base de Termisol à 6 %, 3 %, 2% et la Fiente ont été les meilleurs avec $4,31 \pm 0,93$; $4,16 \pm 1,07$; $4,02 \pm 0,89$ et $3,72 \pm 0,94$ talles par plant respectivement. Les traitements 6%Termisol, 5%Termisol, 3%Termisol et 2%Termisol ont permis d'obtenir les plus grands nombres de talles fertiles avec $3,28 \pm 0,93$; $3,21 \pm 0,47$; $3,11 \pm 0,49$ et $2,97 \pm 0,45$ talles fertiles par plants. Cependant, les meilleurs rendements secs sont obtenus avec les traitements à base de Termisol à 6 %, 4 %, 3 % et 5 % avec respectivement $4,33 \pm 0,74 \text{ t.ha}^{-1}$; $4,19 \pm 0,57 \text{ t.ha}^{-1}$; $4,11 \pm 1,67 \text{ t.ha}^{-1}$ et $4,05 \pm 0,53 \text{ t.ha}^{-1}$. Les grains les plus lourds sont issus de l'apport de 4 % de Termisol.

Tableau XIII : Productivité moyenne du riz sur 2 cycles de culture en fonction des doses de fertilisant

Traitements	TalTot	Talinfert	Talfert	PMG(g)	HR(%)	Rendtsec (t.ha ⁻¹)
ZéroF	$3,39 \pm 0,86^c$	$1,02 \pm 0,98^a$	$2,37 \pm 0,31^b$	$21,07 \pm 4,11^b$	$19,92 \pm 3,92^a$	$2,79 \pm 0,93^b$
1%Termisol	$3,68 \pm 0,62^{abc}$	$0,93 \pm 0,88^a$	$2,75 \pm 0,36^{ab}$	$22,91 \pm 2,86^{ab}$	$19,05 \pm 3,41^{ab}$	$3,77 \pm 1,28^{ab}$
2%Termisol	$4,02 \pm 0,89^{abc}$	$1,03 \pm 0,89^a$	$2,97 \pm 0,45^{ab}$	$22,41 \pm 3,78^{ab}$	$18,86 \pm 3,35^{ab}$	$4,00 \pm 1,75^a$
3%Termisol	$4,16 \pm 1,07^{ab}$	$1,05 \pm 1,09^a$	$3,11 \pm 0,49^a$	$23,52 \pm 2,81^{ab}$	$19,25 \pm 3,44^{ab}$	$4,11 \pm 1,67^a$
4%Termisol	$3,65 \pm 0,72^{abc}$	$1,03 \pm 0,91^a$	$2,62 \pm 0,35^{ab}$	$25,74 \pm 2,71^a$	$16,71 \pm 2,03^c$	$4,19 \pm 0,57^a$
5%Termisol	$4,14 \pm 0,71^{ab}$	$0,91 \pm 0,78^a$	$3,21 \pm 0,47^a$	$25,25 \pm 4,17^{ab}$	$17,47 \pm 2,43^{bc}$	$4,05 \pm 0,53^a$
6%Termisol	$4,31 \pm 0,93^a$	$1,02 \pm 0,86^a$	$3,28 \pm 0,42^a$	$24,25 \pm 2,49^{ab}$	$17,88 \pm 1,71^{bc}$	$4,33 \pm 0,74^a$
NPK	$3,48 \pm 0,89^{bc}$	$0,86 \pm 0,88^a$	$2,62 \pm 0,36^{ab}$	$22,78 \pm 3,47^{ab}$	$20,07 \pm 3,69^a$	$3,44 \pm 0,59^{ab}$
TermNat	$3,65 \pm 0,84^{abc}$	$1,26 \pm 1,14^a$	$2,39 \pm 0,56^b$	$21,33 \pm 3,64^{ab}$	$19,98 \pm 3,43^a$	$3,50 \pm 1,51^{ab}$
Fiente	$3,72 \pm 0,94^{abc}$	$1,05 \pm 0,90^a$	$2,67 \pm 0,17^{ab}$	$22,97 \pm 2,92^{ab}$	$18,75 \pm 3,82^{ab}$	$3,63 \pm 0,37^{ab}$
CV	0,2192	0,9295	0,1739	0,1457	0,1662	0,2921
Pvalue	0,0014	0,8270	0,0003	0,0221	< 0,0001	0,0029
Effet	**	ns	***	*	***	**

Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % pour le Test de Newman-Keuls ; * différence significative $P < 0,05$; **différence hautement significative $P < 0,01$; ***différence très hautement significative $P < 0,001$; ns : Différence non significative $P > 0,05$; CV : Coefficient de variation ; TermNat : Termitière naturelle ; ZéroF : Témoin sans fertilisant ; TalTot : nombre total de talles par plant ; Talinfert : nombre de talles infertiles par plant ; Talfert : nombre de talles fertiles par plant ; PMG : poids des 1000 grains ; %HR : humidité relative du grain à la récolte ; Rendfrais : rendement frais ; Rendtsec : rendement du grain sec à 12%.

6.4.1. Effet de la dose de "Termisol" sur le tallage chez le riz

6.4.1.1. Effet de la dose de "Termisol" sur le nombre total de talles

L'apport du "Termisol" a eu un effet significatif ($P < 0,05$) sur le nombre total de talles au cycle 1 (Tableau XIV). Le nombre moyen de talles a globalement varié entre $2,64 \pm 0,25$ talles

par plant (ZéroF, cycle 1) et 5,04±0,50 talles par plant (6% Termisol, cycle 2). Entre ces deux extrêmes, les plus grands nombres de talles par plant sont obtenus au cycle 2 sur les traitements 2 % et 3% Termisol avec 4,79±0,13 et 5±0,59 talles par plant chacun. Les traitements NPK et Fiente ont présenté les plus petits nombres de talles avec respectivement les valeurs de 2,70±0,18 et 2,87±0,18 talles par plant au cycle 1 au-dessus de ZéroF au cycle 1.

6.4.1.2. Effet de la dose de “Termisol” sur le nombre de talles fertiles

L’apport du “Termisol” a eu un effet hautement significatif (P < 0,001) sur le nombre de talles fertiles au cycle 2 (Tableau XIV). Les plus grands nombres de talles fertiles par plant sont obtenus sur les traitements 5 %, 6 % et 3% Termisol avec respectivement 3,43±0,65 talles ; 3,37±0,47 talles et 3,29±0,66 talles fertiles par plant au cycle 1. Les traitements TermNat, ZéroF et 4%Termisol ont présenté les plus petits nombres de talles fertiles avec respectivement les valeurs de 1,97±0,48 ; 2,18±0,16 et 2,33±0,23 talles fertiles par plant au cycle 2.

Tableau XIV : Évolution du tallage en fonction des traitements à travers les cycles (2018 et 2019)

Traitements	Paramètres de production					
	TalTot		Talinfert		Talfert	
	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 1	Cycle 2
ZéroF	2,64±0,25 ^c	4,14±0,35 ^a	0,08±0,07 ^a	1,95±0,41 ^a	2,56±0,33 ^a	2,18±0,16 ^{de}
1% Termisol	3,12±0,12 ^{abc}	4,25±0,06 ^a	0,06±0,08 ^a	1,81±0,17 ^a	3,06±0,06 ^a	2,43±0,16 ^{bcd}
2% Termisol	3,25±0,43 ^{ab}	4,79±0,13 ^a	0,18±0,13 ^a	1,87±0,38 ^a	3,04±0,53 ^a	2,91±0,47 ^{abc}
3% Termisol	3,33±0,66 ^{ab}	5±0,59 ^a	0,04±0,02 ^a	2,06±0,58 ^a	3,29±0,66 ^a	2,93±0,28 ^{ab}
4% Termisol	3,04±0,09 ^{abc}	4,27±0,39 ^a	0,12±0,08 ^a	1,93±0,13 ^a	2,91±0,07 ^a	2,33±0,23 ^{cde}
5% Termisol	3,62±0,54 ^a	4,66±0,40 ^a	0,16±0,11 ^a	1,66±0,32 ^a	3,43±0,65 ^a	3±0,00 ^{ab}
6% Termisol	3,58±0,56 ^a	5,04±0,50 ^a	0,18±0,10 ^a	1,85±0,29 ^a	3,37±0,47 ^a	3,18±0,45 ^a
NPK	2,70±0,18 ^{bc}	4,27±0,34 ^a	0,08±0,07 ^a	1,64±0,59 ^a	2,62±0,12 ^a	2,62±0,55 ^{abcd}
TermNat	2,97±0,25 ^{abc}	4,33±0,59 ^a	0,16±0,12 ^a	2,35±0,42 ^a	2,81±0,21 ^a	1,97±0,48 ^e
Fiente	2,87±0,18 ^{bc}	4,58±0,13 ^a	0,16±0,15 ^a	1,93±0,23 ^a	2,70±0,21 ^a	2,64±0,15 ^{abcd}
CV	0,1432	0,0989	0,9956	0,2264	0,148	0,1771
P	0,0458	0,0836	0,8864	0,8265	0,1131	0,0069
Effet	*	ns	ns	ns	ns	**

Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % pour le Test de Newman-Keuls ; * différence significative P < 0,05 ; **différence hautement significative P < 0,01 ; ns : Différence non significative P > 0,05 ; CV : Coefficient de variation ; TermNat : Termitière naturelle ; ZéroF : Témoin sans fertilisant ; TalTot : nombre total de talles par plant ; Talinfert : nombre de talles infertiles par plant ; Talfert : nombre de talles fertiles par plant.

6.4.1.3. Effet de la dose de “Termisol” sur le nombre de talles infertiles

L’apport du “Termisol” n’a pas eu un effet significatif ($P > 0,05$) sur le nombre de talles infertiles pendant les 2 cycles (Tableau XIV). Les plus grands nombres de talles infertiles par plant sont obtenus sur les traitements TermNat (cycle 2), 3% Termisol (cycle 2) et ZéroF (cycle 2) avec respectivement $2,35 \pm 0,42$ talles ; $2,06 \pm 0,58$ talles et $1,95 \pm 0,41$ talles infertiles par plant. Les traitements 3% Termisol, 1% Termisol et NPK ont présenté les plus petits nombres de talles infertiles avec respectivement les valeurs de $0,04 \pm 0,02$; $0,06 \pm 0,08$ et $0,08 \pm 0,07$ talles infertiles par plant au cycle 1.

6.4.2. Effet de la dose de “Termisol” sur le poids de 1000 grains, l’humidité du grain et le rendement

L’apport du “Termisol” a eu un effet significatif ($P < 0,001$) sur le poids de 1000 grains (PMG), l’humidité relative du grain à la récolte et du rendement frais à la récolte au deuxième cycle (Tableau XV). Le PMG a globalement varié entre $17,84 \pm 1,58$ g (ZéroF, cycle 2) et $26,88 \pm 3,19$ g (4% Termisol, cycle 2). Ainsi, les plus grands PMG sont obtenus sur les traitements au Termisol 4 %, 5 % et 2 % avec respectivement $26,88 \pm 3,19$ g (cycle 2) ; $26,22 \pm 5,31$ g (cycle 2) et $25,74 \pm 0,76$ g (cycle 1). Le taux d’humidité du grain à la récolte a varié significativement ($P < 0,001$) entre les traitements au cycle 2 uniquement. Le traitement ZéroF (cycle 2) a présenté le taux d’humidité le plus élevé du grain à la récolte $23,45 \pm 0,92$ % et le traitement 4% Termisol a enregistré la plus faible humidité au cycle 1 avec $15,31 \pm 1,04$ %.

Le rendement frais à la récolte (Rendfrais) du riz a été fortement influencé ($P < 0,001$) par le traitement au cours du cycle 2 seulement. Les plus grands rendements frais sont obtenus sur les traitements 3 %, 2 % et 1 % de Termisol avec respectivement $5,71 \pm 1,26$ t.ha⁻¹ ; $5,64 \pm 1,42$ t.ha⁻¹ et $5,16 \pm 0,14$ t.ha⁻¹ au cycle 1. Les traitements ZéroF, TermNat et 2% Termisol ont présenté les plus faibles rendements frais avec respectivement les valeurs de $2,29 \pm 0,45$ t.ha⁻¹ ; $2,53 \pm 0,70$ t.ha⁻¹ et $2,95 \pm 0,54$ t.ha⁻¹ au cycle 2.

Les rendements secs en paddy ont évolué à chaque cycle en fonction du fertilisant (Figure 28). Ainsi, les rendements secs les plus élevés sont obtenus sur les traitements 2% Termisol et 3% Termisol avec respectivement $5,39 \pm 1,33$ t.ha⁻¹ et $5,44 \pm 1,18$ t.ha⁻¹ au cycle 1. Les traitements ZéroF, TermNat et 2% Termisol ont présenté les plus faibles rendements secs avec respectivement les valeurs de $1,99 \pm 0,41$ t.ha⁻¹ ; $2,20 \pm 0,57$ t.ha⁻¹ et $2,62 \pm 0,44$ t.ha⁻¹ au cycle 2.

Tableau XV : Évolution moyenne des paramètres de production durant les deux cycles

Traitements	Paramètres de production					
	PMG (g)		HR(%)		Rendfrais (t.ha ⁻¹)	
	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 1	Cycle 2
ZéroF	24,29±2,92 ^a	17,84±1,58 ^c	16,39±0,41 ^a	23,45±0,92 ^a	3,77±0,41 ^a	2,29±0,45 ^f
1% Termisol	24,76±0,72 ^a	21,05±3,10 ^c	16,05±0,68 ^a	22,05±1,28 ^a	5,16±0,14 ^a	2,96±0,41 ^{def}
2% Termisol	25,74±0,76 ^a	19,08±1,39 ^c	15,92±0,59 ^a	21,8±1,37 ^a	5,64±1,42 ^a	2,95±0,54 ^{def}
3% Termisol	25,57±2,64 ^a	21,48±0,51 ^b ^c	16,18±1,01 ^a	22,33±0,49 ^a	5,71±1,26 ^a	3,15±0,63 ^{cde}
4% Termisol	24,60±2,08 ^a	26,88±3,19 ^a	15,31±1,04 ^a	18,11±1,84 ^b	4,76±0,38 ^a	4,08±0,54 ^{ab}
5% Termisol	24,28±3,54 ^a	26,22±5,31 ^a	15,66±1,31 ^a	19,28±1,80 ^b	4,67±0,29 ^a	3,96±0,45 ^{abc}
6% Termisol	22,94±2,45 ^a	25,56±2,09 ^{ab}	16,48±0,53 ^a	19,28±1,08 ^b	4,86±0,93 ^a	4,43±0,15 ^a
NPK	25,85±0,73 ^a	19,71±1,16 ^c	16,87±1,30 ^a	23,28±1,27 ^a	4,07±0,63 ^a	3,48±0,29 ^{bcd}
TermNat	24,32±1,07 ^a	18,33±2,27 ^c	16,98±0,24 ^a	22,98±1,56 ^a	5,08±0,62 ^a	2,53±0,70 ^{ef}
Fiente	25,24±2,22 ^a	20,70±0,95 ^c	15,33±0,77 ^a	22,18±0,88 ^a	3,90±0,45 ^a	3,97±0,38 ^{abc}
CV	0,0785	0,1748	0,0555	0,0971	0,1917	23,21
P	0,8542	0,0006	0,2744	0,0004	0,0696	0,0008
Effet	ns	***	ns	***	ns	***

Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % pour le Test de Newman-Keuls ; ns : Différence non significative $P > 0,05$; CV : Coefficient de variation ; TermNat : Termitière naturelle ; ZéroF : Témoin sans fertilisant ; PMG : poids des 1000 grains ; HR : humidité relative du grain à la récolte ; Rendfrais : rendement frais à la récolte.

Quel que soit le cycle, le témoin sans fertilisant a présenté les rendements secs les plus bas. Par ailleurs, ce sont les traitements 5%, 4% et 6 % Termisol qui ont été les meilleurs au second cycle avec respectivement $3,63 \pm 0,35$; $3,79 \pm 0,51$ et $4,06 \pm 0,14$ t.ha⁻¹, significativement différents des autres traitements.

Les rendements en paddy ont évolué en fonction de la dose de Termisol au cycle 1 et au cycle 2 (Figure 29). Au cycle 1, les rendements frais ont augmenté progressivement avec les doses de Termisol, passant de $3,77 \pm 0,36$ t.ha⁻¹ (ZéroF) à $5,71 \pm 1,26$ t.ha⁻¹ (3% Termisol) alors que le rendement sec est passé de $3,58 \pm 0,32$ t.ha⁻¹ (ZéroF) à $5,44 \pm 1,18$ t.ha⁻¹ (3% Termisol). Au-delà de ces valeurs, le rendement a diminué malgré l'augmentation de la dose de Termisol. Pour le second cycle réalisé en 2019, les rendements ont été plus bas que ceux obtenus en 2018. Pour ce premier cycle, le meilleur rendement est obtenu sur la parcelle traitée à 3 % de Termisol.

Les rendements frais et secs du cycle 2 ont évolué avec des écarts en dents de scie et les meilleurs ont été obtenus sur les parcelles traitées à partir de 4 % de Termisol aussi bien pour les rendements frais que sec.

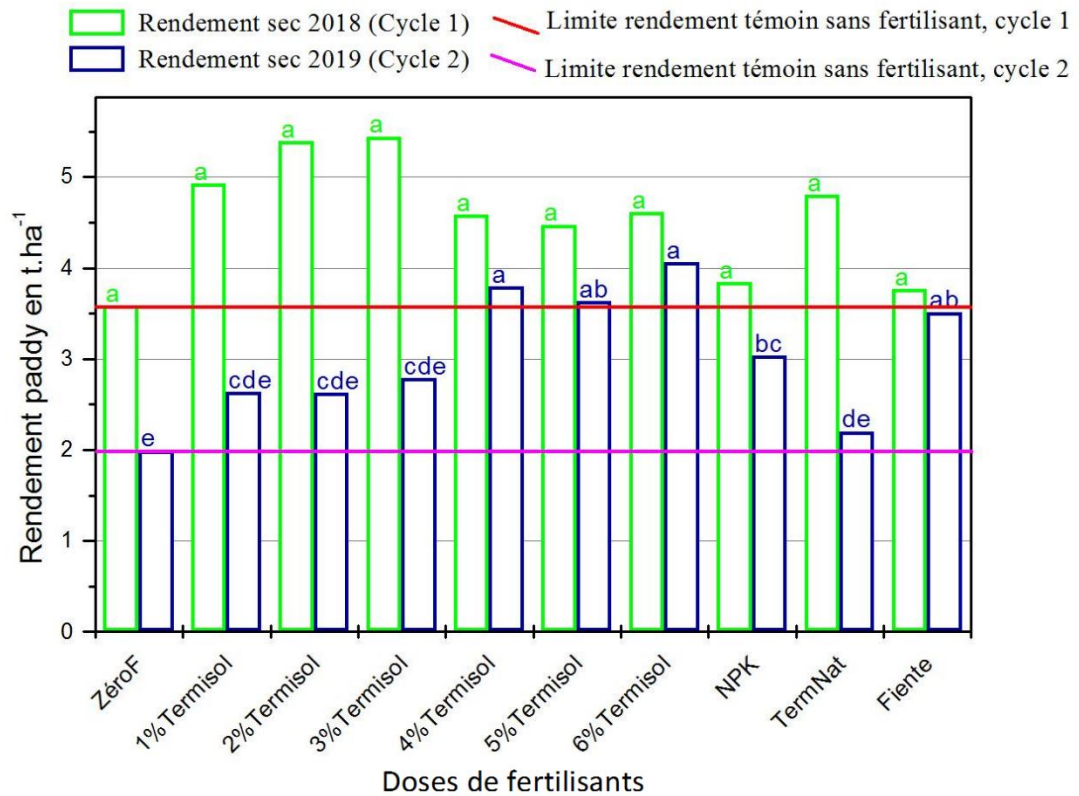


Figure 28 : Évolution du rendement sec en paddy en fonction du fertilisant en 2018 et 2019

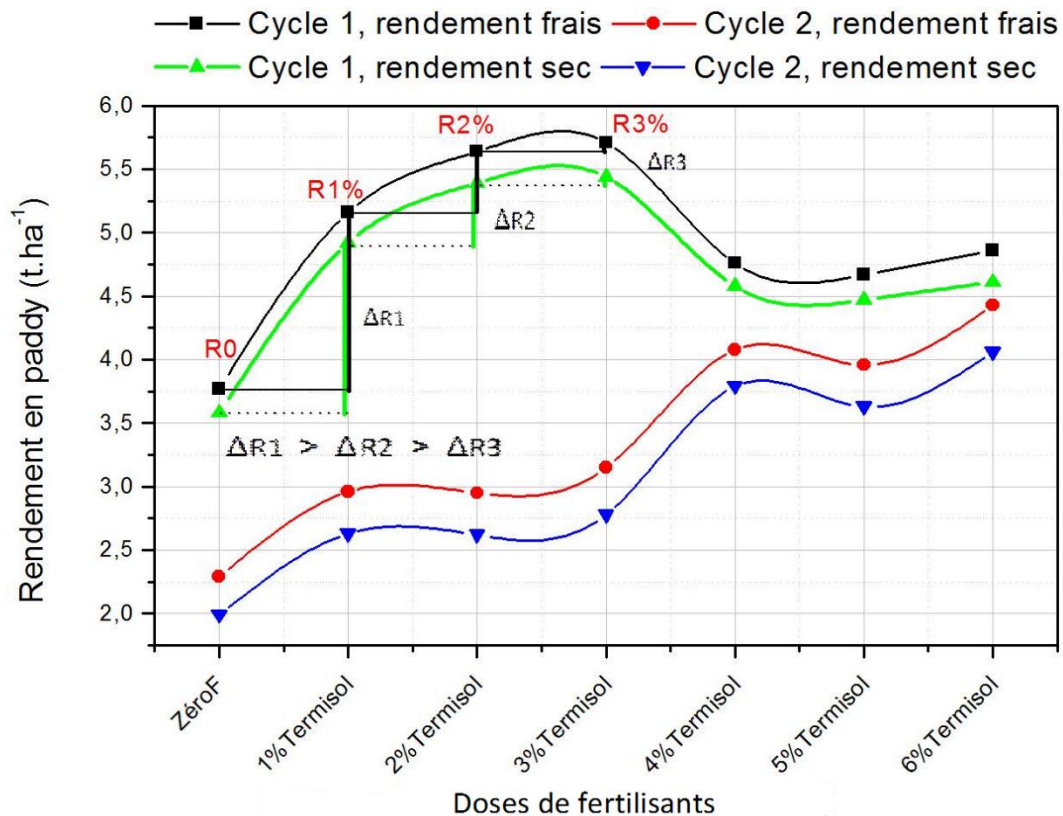


Figure 29 : Courbes de rendement en paddy en t.ha⁻¹ en fonction de la dose aux cycles 1 et 2

6.4.3. Effet du type de fertilisant sur le tallage chez le riz

Le type de fertilisant a affecté les différents cycles pour les paramètres de production à l'exception des talles infertiles (Tableau XVI). Des différences significatives sont enregistrées entre les types de fertilisants pour le nombre total de talles et le nombre de talles fertiles. Au cycle 2, seul le nombre de talles fertiles présente une différence significative ($P < 0,05$).

Le nombre total moyen de talles a varié entre $2,64 \pm 0,25$ talles par plant pour le témoin sans fertilisant (ZéroF) au cycle 1 et $4,67 \pm 0,14$ talles par plant pour le "Termisol" au cycle 2. Les traitements NPK et Fiente ont présenté les plus petits nombres de talles avec respectivement les valeurs de $2,70 \pm 0,18$ et $2,87 \pm 0,18$ talles par plant au cycle 1 après le témoin sans fertilisant (ZéroF, cycle1).

Le nombre moyen de talles fertiles a globalement varié entre $1,97 \pm 0,48$ talles par plant pour la Termitière naturelle (TermNat) au cycle 2 et $3,18 \pm 0,21$ talles par plant pour le "Termisol" au cycle 1. Le TermNat, cycle1 et le "Termisol", cycle 2 avec respectivement $2,81 \pm 0,21$ talles et $2,80 \pm 0,20$ talles fertiles par plant viennent juste après le "Termisol", cycle 1. Le traitement ZéroF au cycle 2 et au cycle 1 a présenté les plus petits nombres de talles fertiles avec respectivement les valeurs de $2,18 \pm 0,16$ et $2,56 \pm 0,33$ talles fertiles par plant après le TermNat au cycle 2.

Les traitements Fiente, ZéroF et TermNat avec respectivement $1,93 \pm 0,23$; $1,95 \pm 0,41$ et $2,35 \pm 0,42$ talles infertiles par plant ont produit les plus grands nombres de talles infertiles au cycle 2. Le NPK, le "Termisol" et la Fiente ont présenté les plus petits nombres de talles infertiles avec respectivement les valeurs de $0,08 \pm 0,07$; $0,12 \pm 0,03$ et $0,16 \pm 0,15$ talles infertiles par plant au cycle 1.

6.4.4. Effet du type de fertilisant sur le poids de 1000 grains, l'humidité du grain et le rendement frais

L'effet du type de fertilisant est significatif ($P < 0,05$) au cycle 1 pour le rendement et hautement significatif ($P < 0,01$) au cycle 2 pour ce paramètre (Tableau XVI). Le poids de 1000 grains (PMG) et l'humidité du grain à la récolte (%HR) présentent une différence significative ($P < 0,05$) au cycle 2. Les plus grands rendements frais sont obtenus sur sol amendé au "Termisol" suivi du sol de termitière naturelle avec respectivement $5,13 \pm 0,26$ et $5,08 \pm 0,62$ t.ha⁻¹ au cycle 1.

À l’opposé, les plus bas rendements frais sont obtenus sur le témoin sans fertilisant (ZéroF) et le sol amendé avec le sol de termitière naturelle (TermNat) au cycle 2 qui ont respectivement $2,29\pm 0,45$ t.ha⁻¹ et $2,53\pm 0,70$ t.ha⁻¹. Le PMG a globalement varié entre $17,84\pm 1,58$ g (cycle 2) et $25,85\pm 0,73$ g (cycle 1) respectivement sur le ZéroF et NPK respectivement. Entre ces deux extrêmes, la Fiente et le ‘‘Termisol’’ ont donné les valeurs moyennes proches de celle obtenue sur le NPK avec $25,24\pm 2,22$ g et $24,65\pm 0,50$ g respectivement au cycle 1. L’humidité du grain a été plus faible avec $15,33\pm 0,77$ % et $15,93\pm 0,43$ % sur les amendements à la Fiente et au ‘‘Termisol’’ respectivement au cycle 1. À l’opposé, les grains sont récoltés plus humides sur les sols amendés au NPK et ZéroF avec $23,28\pm 1,27$ % et $23,45\pm 0,92$ % respectivement au cycle 2.

Le rendement sec à 12 % a varié significativement aux cycles 1 et 2 entre $1,99\pm 0,41$ t.ha⁻¹ (ZéroF, cycle 2) et $4,90\pm 0,27$ t.ha⁻¹ (‘‘Termisol’’, cycle 1).

Tableau XVI : Effet du type de fertilisant sur les paramètres de production durant les deux cycles

Paramètres	Termisol	Fiente	NPK	TermNat	ZéroF	CV	P	Effet
Cycle 1								
TalTot	$3,32\pm 0,02^a$	$2,87\pm 0,18^{ab}$	$2,70\pm 0,18^b$	$2,97\pm 0,25^{ab}$	$2,64\pm 0,25^b$	0,097	0,018	*
Talfert	$3,18\pm 0,05^a$	$2,70\pm 0,21^{ab}$	$2,62\pm 0,12^b$	$2,81\pm 0,21^{ab}$	$2,56\pm 0,33^b$	0,101	0,029	*
Talinfert	$0,12\pm 0,03^a$	$0,16\pm 0,15^a$	$0,08\pm 0,07^a$	$0,16\pm 0,12^a$	$0,08\pm 0,07^a$	1,018	0,885	ns
PMG(g)	$24,65\pm 0,50^a$	$25,24\pm 2,22^a$	$25,85\pm 0,73^a$	$24,32\pm 1,07^a$	$24,29\pm 2,92^a$	0,062	0,855	ns
HR(%)	$15,93\pm 0,43^a$	$15,33\pm 0,77^a$	$16,87\pm 1,30^a$	$16,98\pm 0,24^a$	$16,39\pm 0,41^a$	0,052	0,080	ns
Rendfrais(t.ha ⁻¹)	$5,13\pm 0,26^a$	$3,90\pm 0,45^b$	$4,07\pm 0,63^b$	$5,08\pm 0,62^{ab}$	$3,77\pm 0,36^b$	0,163	0,016	*
Rendtsec(t.ha ⁻¹)	$4,90\pm 0,27^a$	$3,76\pm 0,46^b$	$3,84\pm 0,57^b$	$4,80\pm 0,59^{ab}$	$3,58\pm 0,32^b$	0,161	0,013	*
Cycle 2								
TalTot	$4,67\pm 0,14^a$	$4,58\pm 0,13^a$	$4,27\pm 0,34^a$	$4,33\pm 0,59^a$	$4,14\pm 0,35^a$	0,079	0,254	ns
Talfert	$2,80\pm 0,20^a$	$2,64\pm 0,15^{ab}$	$2,62\pm 0,55^{ab}$	$1,97\pm 0,48^b$	$2,18\pm 0,16^{ab}$	0,174	0,018	*
Talinfert	$1,86\pm 0,27^a$	$1,93\pm 0,23^a$	$1,64\pm 0,59^a$	$2,35\pm 0,42^a$	$1,95\pm 0,41^a$	0,241	0,377	ns
PMG(g)	$23,38\pm 1,09^a$	$20,70\pm 0,95^{ab}$	$19,71\pm 1,16^{ab}$	$18,33\pm 2,27^b$	$17,84\pm 1,58^b$	0,116	0,032	*
HR(%)	$20,47\pm 0,29^b$	$22,18\pm 0,88^{ab}$	$23,28\pm 1,27^a$	$22,98\pm 1,56^a$	$23,45\pm 0,92^a$	0,062	0,019	*
Rendfrais(t.ha ⁻¹)	$3,59\pm 0,17^a$	$3,97\pm 0,38^a$	$3,48\pm 0,29^{ab}$	$2,53\pm 0,70^{bc}$	$2,29\pm 0,45^c$	0,234	0,008	**
Rendtsec(t.ha ⁻¹)	$3,25\pm 0,16^a$	$3,51\pm 0,29^a$	$3,03\pm 0,24^{ab}$	$2,20\pm 0,57^b$	$1,99\pm 0,41^b$	0,238	0,008	**

Les moyennes suivies de la même lettre dans la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % pour le Test de Newman-Keuls ; * différence significative P < 0,05 ; **différence hautement significative P < 0,01 ; ns : Différence non significative P > 0,05 ; CV : Coefficient de variation ; TermNat : Termitière naturelle ; ZéroF : Témoin sans fertilisant ; TalTot : nombre total de talles par plant ; Talinfert : nombre de talles infertiles par plant ; Talfert : nombre de talles fertiles par plant ; PMG : poids des 1000 grains ; HR : humidité relative du grain à la récolte ; Rendfrais : rendement frais ; Rendtsec : rendement du grain sec à 12%.

Sur le cumul des deux cycles (Tableau XVII), aucun effet significatif (P > 0,05) n’est observé entre les types de fertilisant pour le nombre de talles infertiles. Le nombre total de talles, le

nombre de talles fertiles et le poids de 1000 grains (PMG) ont présenté une différence significative ($P < 0,05$) entre les types de fertilisants. Une différence hautement significative ($P < 0,01$) est observée entre les types de fertilisant pour les rendements (frais et sec) et l'humidité du grain à la récolte. Le nombre moyen de talles a varié entre $3,39 \pm 0,86$ talles (ZéroF) et $3,99 \pm 0,74$ talles ("Termisol") et le nombre moyen de talles fertiles entre $2,37 \pm 0,31$ talles fertiles (ZéroF) et $2,99 \pm 0,24$ talles fertiles ("Termisol"). Le nombre de talles infertiles a quant à lui, varié entre $0,86 \pm 0,07$ talles infertiles pour le NPK et $1,26 \pm 0,19$ talles infertiles pour le TermNat et le PMG entre $21,07 \pm 4,11$ g pour ZéroF et $24,01 \pm 1,03$ g pour "Termisol". Les rendements frais et sec ont atteint les valeurs maximales respectives de $4,36 \pm 0,86$ t.ha⁻¹ et $4,08 \pm 0,92$ t.ha⁻¹ sur le "Termisol" et les valeurs minimales de $3,03 \pm 0,89$ et $2,79 \pm 0,93$ t.ha⁻¹ sur le ZéroF. Les grains les plus humides sont récoltés sur les parcelles fertilisées au NPK avec $20,07 \pm 3,69$ % d'humidité.

Tableau XVII : Variation des paramètres de production en fonction des types de fertilisants (moyenne de 2 cycles).

Paramètres	TalTot	Talfert	Talinfert	PMG(g)	Rendfrais (t.ha ⁻¹)	HR(%)	Rendtsec (t.ha ⁻¹)
Termisol	$3,99 \pm 0,74^a$	$2,99 \pm 0,24^a$	$0,99 \pm 0,89^a$	$24,01 \pm 1,03^a$	$4,36 \pm 0,86^a$	$18,20 \pm 2,50^b$	$4,08 \pm 0,92^a$
Fiente	$3,72 \pm 0,94^{ab}$	$2,67 \pm 0,17^{ab}$	$1,05 \pm 0,90^a$	$22,97 \pm 2,92^{ab}$	$3,94 \pm 0,37^{ab}$	$18,75 \pm 3,82^b$	$3,63 \pm 0,37^{ab}$
TermNat	$3,65 \pm 0,84^{ab}$	$2,39 \pm 0,56^b$	$1,26 \pm 1,14^a$	$21,33 \pm 3,64^b$	$3,80 \pm 1,52^{ab}$	$19,98 \pm 3,43^a$	$3,50 \pm 1,51^b$
NPK	$3,48 \pm 0,89^b$	$2,62 \pm 0,36^b$	$0,86 \pm 0,88^a$	$22,78 \pm 3,47^{ab}$	$3,77 \pm 0,54^b$	$20,07 \pm 3,69^a$	$3,44 \pm 0,59^b$
ZeroF	$3,39 \pm 0,86^b$	$2,37 \pm 0,31^b$	$1,02 \pm 0,98^a$	$21,07 \pm 4,11^b$	$3,03 \pm 0,89^c$	$19,92 \pm 3,92^a$	$2,79 \pm 0,93^c$
CV	0,2226	0,1518	0,9395	0,1399	0,2511	0,1701	0,2755
P	0,0161	0,0100	0,4883	0,0288	0,0017	0,0053	0,0009
Effet	*	*	ns	*	**	**	***

Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % pour le Test de Newman-Keuls ; * différence significative $P < 0,05$; ** : différence hautement significative $P < 0,01$; ***différence très hautement significative $P < 0,001$; ns : Différence non significative $P > 0,05$; CV : Coefficient de variation ; TermNat : Termitière naturelle ; ZéroF : Témoin sans fertilisant ; TalTot : nombre total de talles par plant ; Talinfert : nombre de talles infertiles par plant ; Talfert : nombre de talles fertiles par plant ; PMG : poids des 1000 grains ; HR : humidité relative du grain à la récolte ; Rendfrais : rendement frais ; Rendtsec : rendement du grain sec à 12%.

6.5. Relation entre les paramètres de croissance et de production chez le riz

Les corrélations ont été exclusivement positives entre les paramètres de croissance et de production du riz (Tableau XVIII). Le nombre total de talles a été faiblement corrélé ($P < 0,05$; $r = 0,76$) avec la longueur de la racine, fortement corrélé à la surface foliaire ($P < 0,01$; $r = 78$) et faible ($P < 0,05$; $r = 69$) avec la densité à la récolte, la hauteur et la biomasse sèche. Par ailleurs le nombre total de talles a eu une corrélation très forte ($P < 0,001$; $r = 94$) avec le nombre de talles fertiles et forte ($P < 0,01$; $r = 82$) avec le rendement frais. Le nombre de talles fertiles a été quant à lui fortement corrélé ($P < 0,01$; $r = 82$) avec la longueur de la racine, le

rendement frais ($P < 0,01$; $r = 76$) et avec la surface foliaire ($P < 0,001$; $r = 82$) et faiblement corrélé avec la biomasse sèche, la densité à la récolte ($P < 0,05$; $r = 68$) et la hauteur du plant ($P < 0,05$; $r = 68$).

Le poids de 1000 grains (PMG) a été fortement corrélé à la biomasse sèche aérienne ($P < 0,01$; $r = 76$), à la biomasse sèche racinaire ($P < 0,01$; $r = 80$) et totale ($P < 0,01$; $r = 77$). Le PMG est aussi fortement corrélé à la surface foliaire ($P < 0,01$; $r = 79$) et faiblement corrélé à la longueur des racines et au rendement frais. Le rendement frais est quant à lui, très fortement corrélé à la biomasse de la plante, à la surface foliaire et à la densité à la récolte et faiblement corrélé à la hauteur de la plante.

La projection dans le plan factoriel 1-2 associe tous les paramètres de croissance et de production à l'axe 1 (Figure 30 A).

Tableau XVIII : Matrice de corrélation entre la croissance et la production végétale

Variables	Dens	Surfol	Haut	MsPE	MsRac	MsTF	LgRac	TalTot	Talfert	PMG	rdfrais
Dens	1										
Surfol	0,55 ^{ns}	1									
Haut	0,51 ^{ns}	0,74 [*]	1								
MsPE	0,55 ^{ns}	0,89 ^{***}	0,72 [*]	1							
MsRac	0,67 [*]	0,88 ^{***}	0,73 [*]	0,94 ^{***}	1						
MsTF	0,53 ^{ns}	0,89 ^{***}	0,71 [*]	0,99 ^{***}	0,93 ^{***}	1					
LgRac	0,43 ^{ns}	0,79 ^{**}	0,79 ^{**}	0,54 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,54 ^{ns}	1				
TalTot	0,69 [*]	0,78 ^{**}	0,65 [*]	0,67 [*]	0,73 [*]	0,66 [*]	0,76 [*]	1			
Talfert	0,68 [*]	0,82 ^{**}	0,68 [*]	0,66 [*]	0,76 [*]	0,65 [*]	0,82 ^{**}	0,94 ^{***}	1		
PMG	0,50 ^{ns}	0,79 ^{**}	0,61 ^{ns}	0,77 ^{**}	0,80 ^{**}	0,76 ^{**}	0,67 [*]	0,49 ^{ns}	0,59 ^{ns}	1	
rdfrais	0,81 ^{**}	0,80 ^{**}	0,66 [*]	0,85 ^{**}	0,86 ^{**}	0,85 ^{**}	0,62 ^{ns}	0,82 ^{**}	0,79 ^{**}	0,75 [*]	1

Dens : densité des plants ; Surfol : surface foliaire ; Haut : hauteur ; MsPE : biomasse de la plante entière ; MsRac : biomasse racinaire ; MsTF : biomasse aérienne ; LgRac : longueur des racines ; TalTot : nombre total de talles par plant ; Talfert : nombre de talles fertiles par plant ; PMG : poids des 1000 grains ; Rdfrais : rendement frais.

La carte factorielle permet de définir deux groupes de productivité qui s'opposent sur l'axe 1 (Figure 30 B). Le groupe 1, caractérisé par les faibles niveaux de production comprend les traitements Termitière naturelle (TermNat), ZéroF, 1%Termisol, NPK et Fiente formant le groupe Fiente - NPK. Le groupe 2, regroupant les traitements à base de "Termisol" dosés de 2 à 6 % constitue le groupe "Termisol" caractérisé par une meilleure croissance végétative et une meilleure productivité du riz.

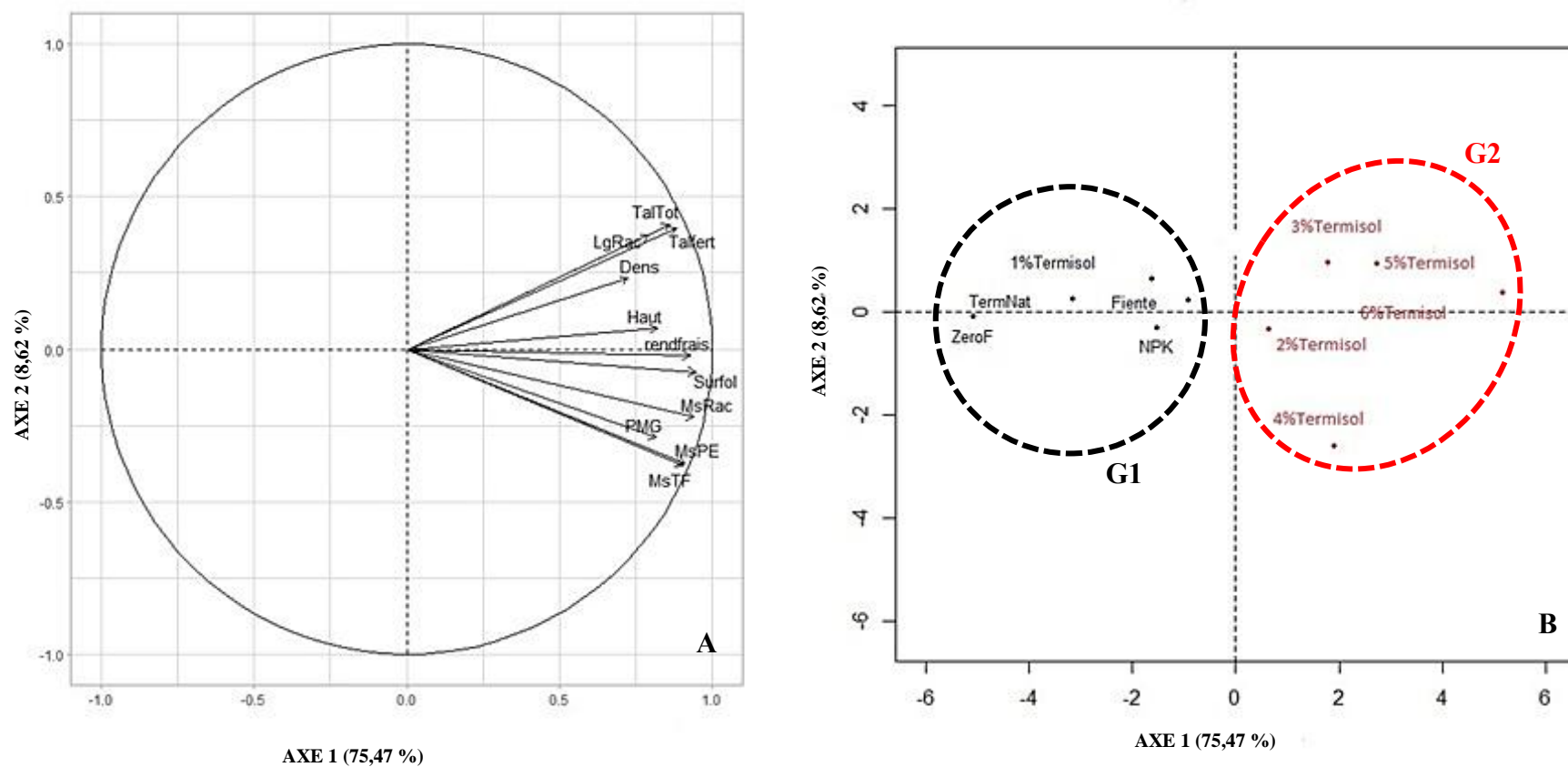


Figure 30 : ACP associant les paramètres de croissance et de production de la variété de riz IDSA10

Le tableau XIX décrit les deux groupes en apportant les paramètres associés. Le groupe 2 est positivement associé aux paramètres de croissance et de production alors que le groupe 1 leur est négativement corrélé.

Tableau XIX : Descriptif des différents groupes formés dans le plan ACP par les variables d'étude

Groupes	Variables	V. test	Moy.groupe	Sd.groupe	Valeur de p
Groupe 1 (ZéroF, NPK, Fiente, 1%Termisol TermNat)	PMG	-2,10	22,21	0,83	0,035
	Talfert	-2,31	2,56	0,15	0,020
	TalTot	-2,37	3,59	0,12	0,017
	rendfrais	-2,37	3,72	0,36	0,017
	Surfol	-2,55	36,49	1,67	0,010
	MsRac	-2,56	0,88	0,06	0,010
	MsTF	-2,57	9,24	0,91	0,009
Groupe 2 (2%Termisol, 3%Termisol, 4%Termisol, 5%Termisol, 6%Termisol)	MsPE	2,59	13,87	1,20	0,009
	MsTF	2,57	12,69	1,13	0,009
	MsRac	2,56	1,15	0,09	0,010
	Surfol	2,55	45,79	3,66	0,010
	rendfrais	2,37	4,42	0,12	0,017
	TalTot	2,37	4,06	0,22	0,017
	Talfert	2,31	3,04	0,31	0,020
PMG	2,10	24,24	1,19	0,035	

V. test : variable du test d'homogénéité, Moy.groupe : Moyenne de variable pour le groupe considéré, Sd.groupe : Ecartype de la variable du groupe, p : probabilité associée au test d'homogénéité. Les valeurs positives de V. test indiquent un effet positif de la variable pour le groupe.

6.6. Diagnostic foliaire

Les taux de prélèvement des éléments nutritifs du sol par les plantes de riz pendant les 2 cycles sont présentés dans le Tableau XX.

6.6.1. Eléments majeurs

L'exportation d'azote par le riz a varié entre 2,38 % de matière sèche (2% Termisol, cycle 2) et 4,20 % de matière sèche (1% Termisol, cycle 1). L'exportation d'azote a été plus forte au cycle 1 qu'au cycle 2. Toutefois, les exportations sont au-dessus du seuil critique de 2,5 % de matière sèche à l'exception des plants de la parcelle amendée avec 2 % de Termisol au cycle 2 qui a enregistré 2,38 % de matière sèche.

Tableau XX : Diagnostic foliaire du riz lors des 2 cycles

Traitements	Eléments majeurs						Eléments secondaires				Oligo-éléments							
	N (%m.s)		P (%m.s)		K (%m.s)		Ca (%m.s)		Mg (%m.s)		Fe (mg.kg ⁻¹)		Cu (mg.kg ⁻¹)		Mn (mg.kg ⁻¹)		Zn (mg.kg ⁻¹)	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
ZéroF	4,12	2,52	0,32	0,44	2,133	1,707	2,710	2,429	0,494	0,333	20,75	12,31	9,73	4,66	3,27	4,96	22,727	7,17
1%Termisol	4,20	2,58	0,31	0,59	2,242	1,931	3,540	2,227	0,473	0,374	20,50	8,76	10,02	4,77	4,75	5,01	24,545	7,15
2%Termisol	4,00	2,38	0,31	0,17	2,251	1,381	4,00	1,661	0,453	0,283	20,50	7,58	9,54	5,83	5,02	4,73	27,273	6,90
3%Termisol	3,97	2,60	0,31	0,19	2,329	1,379	3,648	1,596	0,453	0,275	21,31	7,85	10,14	6,83	3,79	4,95	30,909	6,88
4%Termisol	4,06	2,72	0,32	0,37	2,379	1,622	4,444	1,845	0,453	0,290	19,82	5,75	9,69	7,49	9,61	4,78	36,363	6,98
5%Termisol	3,69	2,72	0,33	0,23	2,323	1,377	1,780	1,542	0,453	0,283	19,73	7,94	8,60	3,71	7,71	4,95	39,091	6,84
6%Termisol	3,61	2,63	0,33	0,17	2,334	1,585	4,141	1,775	0,404	0,289	19,04	9,27	10,10	6,07	8,84	4,91	4,140	6,78
NPK	3,61	2,80	0,33	0,53	2,431	2,104	3,529	2,104	0,398	0,325	20,57	8,55	9,33	5,67	8,92	4,92	6,868	6,90
TermNat	3,62	2,86	0,31	0,59	2,360	3,101	2,419	1,685	0,41	0,314	15,69	8,08	9,80	4,27	9,36	5,03	6,413	6,83
Fiente	3,78	2,58	0,33	0,17	2,377	2,231	2,501	1,415	0,411	0,287	16,68	10,67	10,77	2,36	8,72	4,8	9,140	6,77

C1 : cycle 1 ; C2 : cycle 2 ; %m.s : pourcentage de matière sèche ; ppm ; ZéroF : Témoin sans fertilisant ; TermNat : Termitière naturelle ; N : azote ; P : phosphore ; K : potassium ; Ca : calcium ; Mg : magnésium ; Cu : cuivre ; Fe : fer ; Mn : manganèse ; Zn : zinc

Le prélèvement de phosphore des feuilles a globalement varié entre 0,17 % de matière sèche (2%Termisol, cycle 2) et 0,59 % de matière sèche (1%Termisol, cycle 2). Cette exportation est forte au cours du cycle 1 et juste à la limite par rapport au seuil critique pour le phosphore qui est de 0,18 % de matière sèche au cycle 2 pour 2%Termisol, 6%Termisol et Fiente. Le prélèvement de potassium des feuilles a globalement varié entre 1,37 % de matière sèche (5%Termisol, cycle 2) et 2,43 % de matière sèche (NPK, cycle 1). Ces taux d'exportations sont au-dessus de la valeur critique du potassium qui est de 1 % de matière sèche.

6.6.2. Eléments secondaires

L'exportation de calcium par les feuilles de riz a globalement varié entre 1,415 % de matière sèche (Fiente, cycle 2) et 4,444 % de matière sèche (4%Termisol, cycle 1) pour une valeur seuil de 0,15 % de matière sèche des feuilles. La fourniture en magnésium a globalement varié entre 0,275 % de matière sèche (3%Termisol, cycle 2) et 0,494 % de matière sèche (ZéroF, cycle 1) au-dessus de la valeur critique de 0,10 % de matière sèche.

6.6.3. Oligo-éléments

Le prélèvement de fer par les feuilles a globalement varié entre 5,75 mg.kg⁻¹ (4%Termisol, cycle 2) et 21,310 mg.kg⁻¹ (3%Termisol, cycle 1) et est resté largement en deçà de la valeur seuil de 70 mg.kg⁻¹ attendue pour le riz.

Le prélèvement de cuivre par les feuilles a globalement varié entre 2,36 mg.kg⁻¹ (Fiente, cycle 2) et 10,770 mg.kg⁻¹ (Fiente, cycle 1) pour un seuil de tolérance de 6 mg.kg⁻¹.

La fourniture en manganèse aux feuilles a globalement varié entre 3,270 mg.kg⁻¹ (ZéroF, cycle 1) et 9,610 mg.kg⁻¹ (4%Termisol, cycle 1) loin de la valeur seuil de 20 mg.kg⁻¹.

L'exportation de zinc par les feuilles a globalement varié entre 4,140 mg.kg⁻¹ (6%Termisol, cycle 1) et 39,091 mg.kg⁻¹ (5%Termisol, cycle 1) pour une teneur critique de 10 mg.kg⁻¹.

6.7. Efficacité du "Termisol"

L'efficacité du "Termisol" est calculée sur la base du rendement frais en pourcentage par rapport aux témoins (ZéroF, NPK, Fiente et TermNat). L'apport de "Termisol" au sol en culture de riz pluvial a permis un niveau de productivité significativement différent vis-à-vis des témoins ZeroF, TermNat, Fiente et NPK.

Le supplément de rendement par rapport au témoin NPK a varié significativement ($P < 0,001$) entre les traitements au cycle 2 (Figure 32C). Globalement, la variation est comprise entre -34 % (ZéroF, cycle 2) et 46 % (3%Termisol, cycle 1). Ainsi, les traitements les plus efficaces ont

été 1% Termisol, 2% Termisol et 3% Termisol avec respectivement 29 ; 38 et 46 % au cycle 1. Les traitements ZéroF (cycle 2), TermNat (cycle 2) et 1% Termisol (cycle 2) ont présenté les plus faibles taux d'efficacité avec respectivement -34 ; -27 et -20 %.

Une différence significativement ($P < 0,05$) a été observée entre les traitements au cycle 2 pour le surplus de rendement par rapport à la Fiente (Figure 32B). Ainsi, l'efficacité a globalement varié entre -42 % (ZéroF, cycle 2) et 48 % (3% Termisol, cycle 1). Les plus grands surplus de rendement sont obtenus avec les traitements 1% Termisol, 2% Termisol et 3% Termisol avec respectivement 33 ; 46 et 46 % au cycle 1. Les traitements ZéroF, TermNat et 2% Termisol ont présenté les plus faibles efficacités avec respectivement les valeurs de -42 ; -36 et -24 % au cycle 2.

Relativement au témoin sans fertilisant, l'apport du "Termisol" est globalement positif avec des écarts allant de 5% à 50% (Figure 32D). L'écart de productivité entre le "Termisol" et la termitière naturelle a varié entre -24 (perte de rendement) et +30% (gain de productivité).

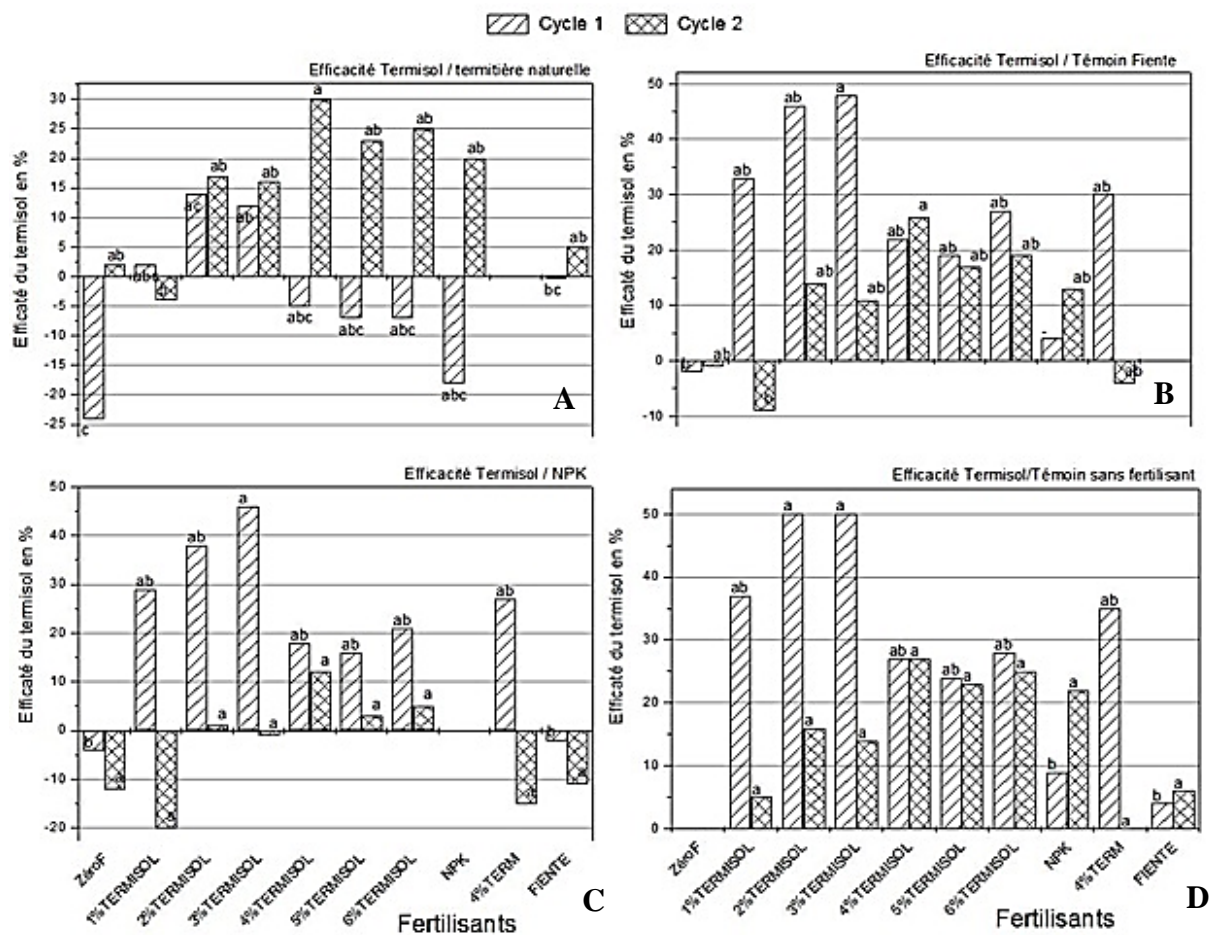


Figure 31 : Efficacité du "Termisol" par rapport aux témoins
A : Termitière naturelle ; **B** : Fiente ; **C** : NPK et **D** : sans fertilisant

6.8. Discussion

Les résultats des travaux ont montré que l'amendement du sol avec le "Termisol" a amélioré les paramètres de croissance et de production du riz. En effet, le "Termisol" a induit une bonne émission foliaire, la croissance en hauteur, des surfaces foliaires plus grandes et une plus grande biomasse végétale. Il a également favorisé un bon tallage (talles total et talles fertile du riz) avec très peu de talles infertiles. Ce bon tallage est associé à de bons rendements conformément à Wey & Traoré (1998), avec une réduction de l'humidité du grain à la récolte. Ainsi, malgré un poids de mille grains légèrement bas par rapport à la fertilisation au NPK, les produits résiduels de termitières ont permis d'atteindre les meilleurs rendements (Kpangba *et al.*, 2020).

L'effet du "Termisol" sur les paramètres agronomiques du riz témoigne de son bon potentiel de fertilité. Les parcelles ayant reçu le "Termisol" ont un avantage structural en demeurant dans la même zone de pH favorables au riz (Zingore *et al.*, 2014). Aussi, la matière organique du "Termisol" et la présence d'argile + limon ont contribué à développer les conditions physiques et chimiques favorables à une bonne croissance et une bonne productivité des sols (Drouet, 2010). La matière organique permet à la fois l'alimentation des plantes en libérant les éléments minéraux adsorbés et le stockage de ces éléments. Par conséquent, elle empêche le lessivage des éléments minéraux en raison de la très faible capacité d'adsorption des colloïdes minéraux. Elle constitue l'un des principaux moteurs de l'amélioration de la fertilité du sol et du rendement (Akanza *et al.*, 2002). En effet, selon Feller *et al.* (1993), la matière organique constitue la base nutritionnelle des plantes et des micro-organismes du sol. Par ailleurs, les études réalisées par Pieri (1989), Tiessen *et al.* (1994) et Feller *et al.* (2000) ont montré que les matières organiques jouent un rôle de stimulation de l'activité biologique qui y puise son énergie, et d'amélioration de certaines propriétés physiques et chimiques du sol. En outre, selon Chien *et al.* (1990) et Fabre & Kockmann (2006), de fortes teneurs en matières organiques favorisent la solubilisation des phosphores naturels et améliorent le prélèvement du phosphore par les plantes. En somme, la matière organique constitue la base de la fertilité des sols et intervient dans la structuration de ceux-ci (Some *et al.*, 2015). Ces résultats confirment ceux de Boga (2007) et Soro *et al.* (2021) qui ont obtenu une amélioration des paramètres de croissance du maïs et du riz pour le premier et du riz pluvial pour les seconds. Aussi, Mokossesse *et al.* (2009) ont montré que le sol de termitière influençait significativement la croissance de *Sorghum sp* et *Crotalaria ochroleuca* en pots tandis que Kpangba *et al.* (2020) ont observé que le sol de termitière influençait significativement les paramètres de croissance de la morelle

noire. Lepage & Duponois (2006) ont également montré que la poudre de termitières de *Cubitermes* utilisé en jardinage améliore de 150 à 300 % la production de fruits de tomates. Cependant pour ces auteurs, cette influence du sol de termitière de *Cubitermes* est due à la forte teneur du nid en acide fulvique riche en azote.

Les résultats de cette étude montrent une faible influence de la terre de termitière de *Macrotermes*, termitière naturelle sur le site de l'essai, sur les paramètres agronomiques du riz. Les résultats obtenus sont similaires aux observations faites par Boga (2007) sur des plants de maïs. Cette faible influence serait due à la faible teneur en éléments colloïdaux dans le sol de termitière naturelle. En effet, le sol de termitière est fortement sableux et dépourvu de potentiel de fertilité chimique. Cependant, pour Kang (1978), en plus de cette faible teneur en minéraux, le phosphore contenu dans le matériau de termitière de *Macrotermes* serait difficilement minéralisé et donc non disponible pour les plantes. Les résultats obtenus sont contraires à ceux de Beugré *et al.* (2020) qui ont montré que le sol de termitière de *Macrotermes bellicosus* était riche en éléments minéraux et en matière organique, mais lierait sa faible influence sur les paramètres agronomiques du niébé à son acidité élevée. La qualité chimique et physique du sol de termitière dépend alors du sol de son implantation et de la récolte de terre par les termites.

La fiente de poule et l'engrais minéral ont présenté presque les mêmes effets sur tous les paramètres étudiés. Ce résultat corrobore celui de Batamoussi *et al.* (2016) qui a montré que les engrais organiques (déjections de caprin, de bovin et de volaille) augmentaient significativement les paramètres de croissance végétative et le nombre de fruits de la tomate.

Les apports de "Termisol" 4 % et 6 % ont eu les effets plus importants sur les biomasses et la hauteur des plants de riz. Cette grande quantité de biomasse et la grande taille des plantes obtenues sur ces traitements par rapport aux autres traitements pourraient s'expliquer par le bon niveau organominéral de ces doses de "Termisol". En effet, ces doses ont amélioré la richesse du sol en azote et en phosphore. Ces résultats corroborent ceux de Kpangba *et al.* (2020) qui ont obtenu des effets significatifs sur la croissance végétative et le rendement en biomasse des plants de morelle noire (*Solanum nigrum* L.) avec l'apport 2 kg, 4 kg et 6 kg de terre de termitières. En effet, les plants de riz mobilisent une quantité importante d'éléments nutritifs avec une exigence particulière pour l'azote, le potassium et le phosphore auxquels s'ajoutent le calcium et le magnésium (Cérighelli, 1955 ; Jacquot & Courtois, 1983). La teneur de ces éléments dans le sol conditionne la croissance et la productivité du riz, expliquant ainsi la bonne croissance du riz sur ces traitements. Lafon *et al.* (1985) et Mrhari (1997), ont rapporté que l'azote minéral absorbé par la plante servait à la synthèse des acides aminés, et jouait un rôle

important dans la croissance et le développement de l'appareil végétatif. En outre, le diagnostic foliaire a confirmé une bonne alimentation des plantes de riz en N, P et K au cours des cycles de production. Le "Termisol" a probablement amélioré l'efficacité de l'urée appliquée du fait de sa contribution à la texture, à la matière organique et conséquemment à la structure du sol initialement sableux. En effet, la dose de 70 kg.ha⁻¹ appliquée au sol lors de la production aurait constitué la dose minérale complémentaire au "Termisol" pour une production durable du riz sur ce type de sol sableux. La chute des quantités d'éléments minéraux, à l'exception du phosphore, traduit une perte par lixiviation de ces éléments dans un sol sableux et confirme la bonne fixation du phosphore dans les sols tropicaux. Cette perte d'éléments est liée à une forte pluviométrie au cycle 2 sur un sol sableux très filtrant. Toutefois, l'alimentation du riz en N P K est demeurée satisfaisante au cycle 2.

Du cycle 1 au cycle 2, l'on a observé une diminution progressive de la hauteur des plants de riz et du rendement, quasiment sur l'ensemble des traitements. Cette diminution pourrait s'expliquer par un appauvrissement progressif du sol en éléments minéraux, dû aux prélèvements par les plants de riz et au lessivage par les eaux de pluie à chaque période culturale. Aussi, le "Termisol" fonctionne-t-il comme un engrais à libération lente car la majeure partie de l'azote qu'il contient est fournie sous forme organique, et les formes minérales utilisables par les plantes sont libérées progressivement (Mokossesse *et al.*, 2012).

Le nombre de talles infertiles, plus important au cycle 2, du fait de la mauvaise répartition des pluies a justifié les rendements plus bas de ce cycle. Malgré une bonne disponibilité d'éléments nutritifs dans le sol, la quantité de pluie et surtout sa répartition au cours du cycle de production est déterminante pour la productivité du riz. En effet, les fortes et abondantes pluies de 2019 ont, en cours de cycle, contribué à réduire le nombre de talles fertiles avec un impact négatif sur le rendement.

Le rendement du riz pluvial semble essentiellement lié au nombre de talles (total et fertiles) au poids de 100 grains et à la teneur en humidité du grain à la récolte. En effet, plus le taux d'humidité du grain à la récolte a été bas et le nombre de talles fertiles élevé, plus le rendement sec en paddy fut grand. En outre, l'abondance et la régularité de la pluie durant la phase de floraison du riz au cycle 2 a induit un plus grand nombre de talles infertiles, impactant ainsi négativement les rendements de ce cycle. Le riz a été récolté à 105 jas avec des taux d'humidité compris entre 15,31 % et 16,98 % au cycle 1 et entre 18,11 % et 23,45 % au cycle 2. Dans tous les cas, le riz récolté sur les parcelles traitées au "Termisol" a eu les teneurs en humidité les plus basses avec un avantage au rendement. L'application du "Termisol" aurait alors offert des conditions d'une précocité de récolte par rapport aux autres traitements. La corrélation

positive entre la biomasse aérienne et celle de la plante entière traduit la grande différence entre le développement végétatif aérien et la partie racinaire de la plante de riz.

Le rendement en paddy du cycle 2 est réduit comparé à celui du cycle 1. En outre, seul le rendement du cycle 1 a varié selon la loi des suppléments de rendements moins que proportionnels conformément aux travaux de Soro *et al.* (2021). Cette réponse du riz aux doses croissantes du “Termisol” confirme son potentiel de fertilité. L’activité des termites dans les pièges sur une période de trois à six jours a donc produit une substance à potentiel de fertilité et applicable en agriculture vivrière. Par ailleurs, la variation de rendement en paddy du cycle 2 n’est pas en lien avec le rendement du cycle 1. L’effet différencié entre les rendements des cycles 1 et 2 pour tous les traitements traduit du coup, un arrière effet différent et plus important du “Termisol”.

Conclusion partielle

L’étude a mis en évidence l’importance de l’utilisation du “Termisol” en culture de riz pluvial. Les résultats de l’effet du “Termisol” sur les paramètres de croissance et de productivité montrent que les différentes doses du produit résiduaire organique des termites ont influencé positivement l’ensemble des paramètres observés que sont les paramètres de croissance et de productivité du riz. Les amendements de 4 % et 6 % de “Termisol” ont permis une meilleure croissance des plantes de riz et les rendements.

Tous ces résultats montrent que le “Termisol” constituerait une solution durable à l’amélioration de la fertilité du sol et pourrait être valorisé comme amendement organique naturel efficace pour accroître le rendement du riz en Côte d’Ivoire. En plus, c’est une technique simple, qui est à la portée des exploitants agricoles et elle permettrait de réduire les dépenses pour les acquisitions des engrais chimiques par les paysans.

Chapitre 7 : Effets du produit résiduaire de termitière sur les propriétés du sol en riziculture

Introduction partielle

Ce chapitre présente les résultats de l'effet du "Termisol" sur les propriétés du sol en riziculture. Il s'est agi de déterminer les caractéristiques physico-chimiques des sols des traitements et leur humidité ainsi que leur température après chaque cycle de culture. Aussi, les relations entre les paramètres du sol et les paramètres agronomiques ont été mises en évidence.

7.1. Caractéristiques physico-chimiques du sol avant culture et des substrats

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les échantillons de "Termisol", de sol de la parcelle et de terre de termitière ont montré que le "Termisol" a les caractéristiques physiques d'un limon sableux (Figure 33), riche en matières organiques (5,86 % MO), en azote (0,26% N), en phosphore assimilable (78 mg.kg⁻¹ P.ass) avec un pH neutre (7,12). Cette substance fertilisante est globalement saturée en bases avec V = 74,14 % (Tableau XXI).

Tableau XXI : Caractéristiques physico-chimiques du sol témoin, de la terre de termitière et du "Termisol"

Paramètres	Sol témoin	Terre de termitière	Termisol	
Granulométrie	A (%)	3,42	10	11,25
	L (%)	19,65	12,45	26,08
	A+L (%)	23,07	22,45	37,33
	S (%)	75,55	76,87	59,26
Bioorganique	C (%)	0,8	0,68	3,41
	Nt (%)	0,05	0,05	0,26
	C/Nt	15,48	13,51	12,48
	M.O (%)	1,38	1,16	5,86
Chimiques	pH eau	5,23	5,5	7,12
	P.ass (mg.kg ⁻¹)	40,67	38	78
	Ca ²⁺ (cmol.kg ⁻¹)	0,75	1,46	2,24
	Mg ²⁺ (cmol.kg ⁻¹)	0,5	0,64	1,65
	K ⁺ (cmol.kg ⁻¹)	0,03	0,22	3,41
	Na ⁺ (cmol.kg ⁻¹)	0,06	0,15	0,12
	CEC (cmol.kg ⁻¹)	2,83	7,2	9,92
	Sb (cmol.kg ⁻¹)	1,34	2,48	7,4
	V%	47,29	34,44	74,14

A : argile ; L : limon ; S : sable ; pH : potentiel hydrogène ; C : carbone ; C/N : rapport carbone azote ; Nt : azote total ; MO : matière organique ; P.ass : phosphore assimilable ; CEC : capacité d'échange ; Ca²⁺ : calcium ; Mg²⁺ : magnésium ; Na⁺ : sodium ; K⁺ : potassium ; Sb : somme des bases ; V : taux de saturation.

Le sol témoin est un sable limoneux (Figure 33) pauvre en MO (1,38 % MO) et en N (0,05 % N) avec un pH acide (5,23) et moyennement saturé avec V = 47,29 %. Le sol de termitière

naturelle a les caractéristiques physiques d'un limon sableux. Le complexe adsorbant est faiblement fourni avec une CEC de $7,2 \text{ cmol.kg}^{-1}$ et une somme des bases échangeables de $2,48 \text{ cmol.kg}^{-1}$ pour un taux de saturation du complexe adsorbant en cations moyen de 34,4 % (Tableau XXI).

7.2. Évolution des paramètres physico-chimiques des sols

7.2.1. Granulométrie

La granulométrie du sol a varié entre les traitements dans le cycle et entre les cycles (Tableaux XXII et XXIII). La plus grande variation est obtenue pour la somme A+L. Ainsi, le taux A+L a été bas sur toutes les parcelles après le premier cycle de culture. À la suite du second cycle, cette proportion a augmenté quasiment sur toutes les parcelles. Cette variation s'est faite plus dans le sens de la variation de la proportion de limon. Les proportions de sable et d'argile varient faiblement (Tableaux XXII et XXIII). La plus grande variation est observée avec le limon qui passe de 7,55 % (cycle 1) à 34,44 % (cycle 2) après apport de Fiente et de 2,3 % (cycle 1) à 23,9 % après apport de 4 % de "Termisol" au cycle 1.

Après le cycle 2, les textures des traitements 2%Termisol, 4%Termisol et 6%Termisol sont passées de sablo-limoneuses (cycle 1) à limono-sableuses (Tableaux XXII et XXIII). Les traitements NPK, TermNat sont passés de la texture sableuse à la texture sablo-limoneuse et le traitement Fiente de la texture sableuse à la texture limono-sableuse (Figure 33).

La teneur en argile + limon (A+L) des sols a globalement varié entre 9,95 % (NPK, cycle 1) et 38,35 % (Fiente, cycle 2). Ainsi, les teneurs les plus élevées ont été obtenues sur les traitements 2%Termisol, 4%Termisol et Fiente avec respectivement 26,55 % ; 28,35 % et 38,35 % au cycle 2. Les traitements NPK, Fiente et TermNat ont présenté les plus faibles teneurs en (A+L) avec respectivement des valeurs de 09,95 %, 10,30 % et 11,15 % au cycle 1 (Tableaux XXII et XXIII).

7.2.2. Acidité du sol

Le pH du sol a varié entre les deux cycles de culture. Toutefois, les traitements l'ont fait passer de pH acide (5,23) sur la parcelle initiale à un pH variant de peu acide (6,1 - 6,5) à neutre (7,1) après le cycle 1. Après le cycle 2, le sol s'est quelque peu acidifié en passant à des valeurs de pH comprises entre 5,4 et 5,7, l'apport de fertilisant ayant été fait avant le premier cycle en une seule fois (Tableaux XXII et XXIII).

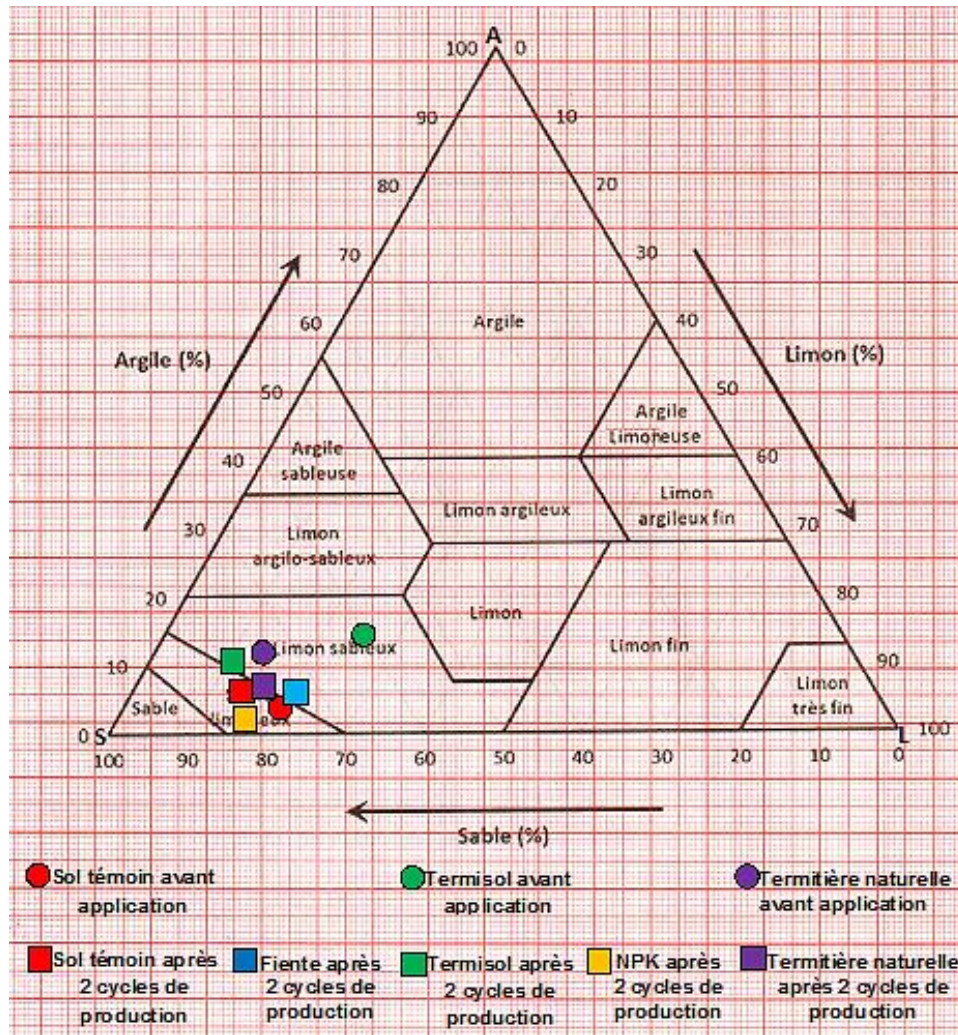


Figure 32 : Textures des sols des parcelles avant et après culture

7.2.3. Paramètres bioorganiques

La teneur en carbone du sol a faiblement varié sur les parcelles et est restée globalement faible, comprise entre 0,56 % (NPK, cycle 1) et 1,09 % (2%Termisol, cycle 1). L’apport de “Termisol” avec 3,41 % de carbone (riche en carbone) n’a pas permis d’améliorer sensiblement le statut du sol après les deux cycles de culture (Tableaux XXII et XXIII). Après le premier cycle, le carbone a varié entre 0,56 % et 1,09 %. Les taux de carbone les plus élevés ont été obtenus sur les traitements 6%Termisol, 4%Termisol et 2%Termisol avec respectivement 0,80 %, 0,84 % et 1,09 %. Après le deuxième cycle, le niveau de carbone est presque identique au précédent avec des proportions comprises entre 0,61 % et 1,01 %. Les traitements TermNat, 4%Termisol et 2%Termisol avec respectivement 0,96 %, 0,98 % et 1,01 % ont présenté les taux de carbone les plus élevés après ce dernier cycle. Les valeurs seuils sont comprises entre 1,6 % et 2,5 %.

Tableau XXII : Paramètres physico-chimiques du sol après le cycle 1

Paramètres	Traitements										Normes Bertchinger <i>et al.</i> , (2003) et Assa (2005)	
	ZéroF	1% Termi sol	2% Termi sol	3% Termi sol	4% Termi sol	5% Termi sol	6% Termi sol	NPK	TermNat	Fiente		
Granulométrie	A (%)	10	10,5	11,5	11	12	10,5	13	1,5	3	2,75	
	L (%)	4,2	3,35	2	4,05	2,3	2,65	3,15	8,45	8,15	7,55	
	A+L (%)	14,2	13,85	13,5	15,05	14,3	13,15	16,15	9,95	11,15	10,3	
	S (%)	85,1	85,31	85,41	84,15	84,86	86,07	83,05	89,49	88,22	89,09	
Bioorganiques	C (%)	0,7	0,84	1,09	0,8	0,84	0,78	0,8	0,56	0,63	0,61	1,6 - 2,5
	Nt (%)	0,06	0,07	0,09	0,07	0,08	0,07	0,07	0,05	0,06	0,05	1,2 - 2,2
	C/Nt	11,6	12,01	12,1	11,42	10,51	11,13	11,42	11,2	10,57	12,27	9 - 12
	M.O (%)	1,2	1,45	1,87	1,38	1,45	1,34	1,38	0,96	1,09	1,06	3 - 6
Chimiques	pH	7,1	6,4	6,5	6,3	6,4	6,5	6,4	6,1	6,2	6,3	5,5 - 6
	P.ass (mg. kg ⁻¹)	62	64	63	55	54	56	40	50	50	43	50 - 100
	Ca ²⁺ (cmol.kg ⁻¹)	2,452	2,397	2,905	2,431	2,373	2,661	2,978	2,821	4,271	3,332	2,5 - 3,5
	Mg ²⁺ (cmol.kg ⁻¹)	0,747	0,658	0,794	0,734	0,718	0,662	0,761	0,591	0,757	0,522	1 - 1,5
	K ⁺ (cmol.kg ⁻¹)	0,092	0,087	0,091	0,096	0,075	0,097	0,096	0,088	0,063	0,06	0,15 - 0,40
	Na ⁺ (cmol.kg ⁻¹)	0,119	0,108	0,108	0,109	0,128	0,112	0,109	0,101	0,151	0,104	0,3 - 0,7
	CEC (cmol.kg ⁻¹)	3,6	3,5	3,96	3,7	3,4	3,8	4	3,7	5,3	4,1	3 - 8
	Sb (cmol.kg ⁻¹)	3,41	3,25	3,898	3,37	3,294	3,532	3,944	3,601	5,242	4,018	3 - 6
V(%)	94,72	92,86	98,43	91,08	96,88	92,95	98,6	97,32	98,91	98		

ZéroF : témoin sans fertilisant ; TermNat : termitière naturelle ; A : argile ; L : limon ; S : sable ; pH : potentiel hydrogène ; C : carbone ; C /N : rapport carbone azote ; Nt : azote total ; MO : matière organique ; P.ass : phosphore assimilable ; CEC : capacité d'échange des cations ; Ca²⁺ : calcium ; Mg²⁺ : magnésium ; Na⁺ : sodium ; K⁺ : potassium ; Sb : somme des bases ; V : taux de saturation.

Tableau XXIII : Paramètres physico-chimiques du sol après le cycle 2

Paramètres	Traitements										Normes Bertchinger <i>et al.</i> , (2003) et Assa (2005)	
	ZéroF	1% Termi sol	2% Termi sol	3% Termi sol	4% Termi sol	5% Termi sol	6% Termi sol	NPK	TermNat	Fiente		
Granulométrie	A (%)	3,5	3,5	3,5	4,5	4,5	4,25	4,5	4	5	4	
	L (%)	15,55	18,50	23,05	19,20	23,85	15,25	19,52	18,60	16,35	34,35	
	A+L (%)	19,05	22,00	26,55	23,70	28,35	19,50	24,02	22,60	21,35	38,35	
	S (%)	79,57	76,55	71,71	74,75	69,97	79,18	74,40	76,28	77,00	60,60	
Bioorganiques	C (%)	0,80	0,84	1,01	0,90	0,98	0,77	0,92	0,65	0,96	0,61	1,6 - 2,5
	Nt (%)	0,06	0,07	0,08	0,07	0,06	0,04	0,06	0,05	0,07	0,04	1,2 - 2,2
	C/Nt	13,4	12,54	12,68	13	17,43	17,1	16,41	13,03	13,67	13,68	9 - 12
	M.O (%)	1,38	1,45	1,74	1,55	1,68	1,32	1,58	1,12	1,65	1,05	3 - 6
Chimiques	pH	5,4	5,4	5,5	5,4	5,6	5,6	5,6	5,6	5,7	5,7	5,5 - 6
	P.ass ((mg. kg ⁻¹))	47	44	39	47	48	46	45	45	44	44	50 - 100
	Ca ²⁺ (cmol.kg ⁻¹)	0,702	0,694	0,896	1,041	1,001	0,939	0,994	0,871	0,982	0,844	2,5 - 3,5
	Mg ²⁺ (cmol.kg ⁻¹)	0,466	0,418	0,451	0,474	0,465	0,404	0,426	0,400	0,431	0,383	1 - 1,5
	K ⁺ (cmol.kg ⁻¹)	0,034	0,032	0,031	0,051	0,059	0,057	0,057	0,061	0,052	0,054	0,15 - 0,40
	Na ⁺ (cmol.kg ⁻¹)	0,049	0,051	0,043	0,05	0,046	0,039	0,047	0,045	0,038	0,042	0,3 - 0,7
	CEC (cmol.kg ⁻¹)	1,4	1,2	2,4	1,7	1,6	1,5	1,7	1,7	1,7	1,4	3 - 8
	Sb (cmol.kg ⁻¹)	1,251	1,195	1,421	1,616	1,571	1,439	1,524	1,377	1,503	1,323	3 - 6
	V(%)	92,8	91,6	59,1	94,5	93,7	93,3	88,2	82,3	88,2	92,8	

ZéroF : témoin sans fertilisant ; TermNat : termitière naturelle ; A : argile ; L : limon ; S : sable ; pH : potentiel hydrogène ; C : carbone ; C /N : rapport carbone azote ; Nt : azote total ; MO : matière organique ; P.ass : phosphore assimilable ; CEC : capacité d'échange des cations ; Ca²⁺ : calcium ; Mg²⁺ : magnésium ; Na⁺ : sodium ; K⁺ : potassium ; Sb : somme des bases ; V : taux de saturation.

La teneur en matière organique du sol a été insuffisante sur toutes les parcelles comparée à la norme comprise entre 3 % et 6 %. Après le premier cycle de culture, le taux sur les parcelles est resté insuffisant et a varié entre 0,96 % (NPK) et 1,87 % (2%Termisol). À la suite du cycle 2, la teneur en MO est toujours restée faible et comprise entre 1,05% (Fiente) et 1,74 % (2%Termisol). Cependant, les taux de MO ont semblé légèrement améliorés sur les parcelles ZéroF, 3% Termisol, 4% Termisol, 6% Termisol, NPK et TermNat (Tableaux XXII et XXIII).

La teneur en N du sol est très insuffisante avant le premier cycle avec 0,05 %. Après apport de "Termisol" à 0,26 % N et d'un cycle de culture, le taux d'azote sur les parcelles est demeuré insuffisant et varie entre 0,05 (NPK) et 0,09 (2%Termisol). A la suite du cycle 2, la teneur en N a fortement diminué et est comprise entre 0,04 % (Fiente) et 0,08 % (2%Termisol). Les valeurs seuils sont comprises entre 1,2 % et 2,2 %.

Le rapport C/Nt des sols des parcelles a été globalement acceptable après le cycle 1 et a varié entre 10,51 (4% Termisol) et 12,10 (2% Termisol) comparé au seuil compris entre 9 et 12. Après le cycle 2, ce rapport a connu une augmentation au niveau des parcelles et a varié entre 12,54 (1%Termisol) et 17,43 (4%Termisol). Au cycle 2, les rapports les plus élevés ont été obtenus sur les traitements 5%Termisol et 4%Termisol avec respectivement 17,10 et 17,43 (Tableaux XXII et XXIII).

7.2.4. Paramètres chimiques

La teneur en phosphore assimilable a varié dans des proportions faibles durant les deux années de l'essai (Tableaux XXII et XXIII). Ainsi, après le cycle 1, elle a varié entre 40 mg. kg⁻¹ (6%Termisol) et 64 mg.kg⁻¹ (1%Termisol). Entre ces extrêmes, les traitements ZéroF et 2%Termisol ont présenté les teneurs les plus élevées en phosphore assimilable pour ce cycle avec respectivement 62 mg.kg⁻¹ et 63 mg. kg⁻¹. Après le cycle 2, la teneur en phosphore assimilable a baissé et a varié entre 39 mg.kg⁻¹ (2%Termisol) et 48 mg.kg⁻¹ (4%Termisol). Les valeurs seuils pour le phosphore assimilable sont comprises entre 50 mg.kg⁻¹ et 100 mg.kg⁻¹.

La capacité d'échange des cations a varié dans des proportions faibles après le cycle 1 et dans des proportions très faibles après le cycle 2 (Tableaux XXII et XXIII). Ainsi, après le cycle 1, elle a varié entre 3,4 cmol.kg⁻¹ (4%Termisol) et 5,3 cmol.kg⁻¹ (TermNat). Après le cycle 2, la CEC a varié entre 1,4 cmol.kg⁻¹ (ZéroF) et 2,4 cmol.kg⁻¹ (2%Termisol). Au cycle 2, la teneur de la CEC a baissé, comparée à la teneur des parcelles au cycle 1. Les valeurs normatives de la CEC sont comprises entre 3 et 8 cmol.kg⁻¹.

La teneur en calcium a varié dans des proportions faibles durant les deux années de l'essai comparée aux valeurs seuils qui se situent entre 2,5 et 3,5 cmol.kg⁻¹ Ainsi, elle a varié entre

2,37 cmol.kg^{-1} et 4,27 cmol.kg^{-1} sur les parcelles traitées à 4 % de “Termisol” et de Terre de termitière naturelle (TermNat) respectivement au cours du cycle 1. Les teneurs les plus élevées en calcium pour ce cycle ont été obtenues sur les traitements 6 % Termisol et Fiente avec respectivement 2,97 cmol.kg^{-1} et 3,33 cmol.kg^{-1} en dessous du TermNat. Après le cycle 2, la teneur en calcium a fortement baissé et a varié entre 0,69 cmol.kg^{-1} (1 % Termisol) et 1,04 cmol.kg^{-1} (3 % Termisol).

La teneur en magnésium demeura faible durant les deux années d’expérimentation sur le riz par rapport aux valeurs seuils comprises entre 1 et 1,5 cmol.kg^{-1} . Ainsi, cette teneur a varié après le cycle 1 entre 0,52 cmol.kg^{-1} (Fiente) et 0,79 cmol.kg^{-1} (2%Termisol). Après le cycle 2, la teneur en magnésium a connu une baisse sur toutes les parcelles et a enregistré une variation entre 0,383 cmol.kg^{-1} (Fiente) et 0,474 cmol.kg^{-1} (3%Termisol). Les teneurs en magnésium les plus élevées ont été obtenues sur les traitements 6%Termisol et 2%Termisol avec respectivement 0,761 cmol.kg^{-1} et 0,794 cmol.kg^{-1} , au cycle 1. Les traitements Fiente, NPK et 5%Termisol ont présenté les plus faibles teneurs avec respectivement des valeurs de 0,383 ; 0,400 et 0,404 cmol.kg^{-1} au cycle 2.

Le sol est resté très pauvre en potassium durant l’essai. En effet, les teneurs de potassium les plus élevées ont été obtenues sur les traitements 3%Termisol, 6%Termisol et 5%Termisol avec respectivement 0,096 cmol.kg^{-1} (3 % et 6 % Termisol) et 0,097 cmol.kg^{-1} (5 % Termisol), au cycle 1. Les traitements 2%Termisol, 1%Termisol et ZéroF ont présenté les plus faibles teneurs avec respectivement des valeurs de 0,031 cmol.kg^{-1} ; 0,032 cmol.kg^{-1} et 0,034 cmol.kg^{-1} au cycle 2. Les valeurs seuils en potassium sont comprises entre 0,15 et 0,40 cmol.kg^{-1} .

La teneur en sodium a été faible sur les sols des parcelles après les essais (Tableaux XXII et XXIII). Cependant, les différents traitements ont contribué à baisser cette teneur en sodium des sols des essais. Ainsi, après le cycle 1, cette teneur a varié entre 0,101 cmol.kg^{-1} (NPK) et 0,128 cmol.kg^{-1} (4%Termisol). Après le cycle 2, la teneur du sodium a varié entre 0,038 cmol.kg^{-1} (TermNat) et 0,051 cmol.kg^{-1} (1%Termisol). Les valeurs seuils en sodium sont comprises entre 0,3 et 0,7 cmol.kg^{-1} .

La somme des bases échangeables est restée faible sur les parcelles durant l’essai comparée aux valeurs comprises entre 3 et 6 cmol.kg^{-1} . Ainsi, la somme des bases a varié au cycle 1 entre 3,25 cmol.kg^{-1} (1%Termisol) et 5,242 cmol.kg^{-1} (TermNat). Au cycle 2, elle a connu une baisse sur toutes les parcelles et a enregistré une variation entre 1,195 cmol.kg^{-1} (ZéroF) et 1,616 cmol.kg^{-1} (3%Termisol). Les sommes des bases les plus élevées ont été obtenues sur les traitements 6%Termisol, TermNat et Fiente avec respectivement 3,944 ; 4,018 et 5,242 cmol.kg^{-1} , au cycle 1. Les traitements 1%Termisol, ZéroF et Fiente ont présenté les plus faibles

sommes des bases avec respectivement des valeurs de 1,195 ; 1,251 et 1,323 cmol.kg⁻¹ au cycle 2 (Tableaux XXII et XXIII).

Tous les traitements ont présenté des complexes saturés après les deux cycles. Cependant, seul le sol du traitement 2% Termisol a présenté un complexe moyennement saturé avec 59,10 % de taux de saturation. Les valeurs seuils du taux de saturation sont comprises entre 50 % et 70 %.

7.3. Effet du “Termisol” sur la perméabilité, l’humidité et la température

Aucune différence significative n’a été enregistrée entre les traitements pour la vitesse d’infiltration, le coefficient de perméabilité et la température à la capacité au champ. En revanche, l’humidité a varié significativement ($P < 0,05$) entre les traitements au cycle 2 (Tableau XXIV).

Le coefficient de perméabilité a globalement varié entre $1,71.10^{-5} \pm 0,5.10^{-5}$ m.s⁻¹ (6%Termisol, cycle 2) et $70,52.10^{-5} \pm 30.10^{-5}$ m.s⁻¹ (1%Termisol, cycle 1). Après le cycle 1, les coefficients de perméabilité les plus élevés ont été obtenus sur les traitements Fiente et NPK avec respectivement des valeurs de $58,18.10^{-5} \pm 6.10^{-5}$ m.s⁻¹ et $64,54.10^{-5} \pm 9.10^{-5}$ m.s⁻¹ en dessous de 1 % Termisol. Après le cycle 2, le coefficient de perméabilité a baissé sur toutes les parcelles et a varié entre $1,71.10^{-5} \pm 0,5.10^{-5}$ m.s⁻¹ (6%Termisol) et $4,63.10^{-5} \pm 2.10^{-5}$ m.s⁻¹ (Fiente). Les traitements 3%Termisol et 2%Termisol ont présenté les plus faibles coefficients de perméabilité avec respectivement des valeurs de $2,09.10^{-5} \pm 0,2.10^{-5}$ m.s⁻¹ et $2,11.10^{-5} \pm 0,8.10^{-5}$ m.s⁻¹ au-dessus de 6%Termisol pour ce cycle.

Après le cycle 1, le taux d’humidité à la capacité au champ a varié entre $6,30 \pm 1,47$ % (6%Termisol) et $4,66 \pm 0,57$ % (1%Termisol). Après le cycle 2, les taux d’humidité ont connu une amélioration sur toutes les parcelles avec les taux les plus élevés obtenus sur les traitements 6%Termisol, 4%Termisol et 3%Termisol avec respectivement des valeurs de $8,23 \pm 0,57$ %, $8,56 \pm 1,52$ % et $8,90 \pm 0$ % (Tableau XXIV).

La température à la capacité au champ a globalement varié entre $34,20 \pm 2,07$ °C (NPK, cycle 2) et $37,30 \pm 0,26$ °C (5%Termisol, cycle 1). Entre ces extrêmes, les températures les plus élevées ont été obtenues sur les traitements 3%Termisol et Fiente avec respectivement des valeurs de $37,16 \pm 0,65$ °C et $37,23 \pm 0,64$ °C au cycle 1 (Tableau XXIV). Les traitements Fiente, et 4%Termisol ont présenté les plus faibles températures avec respectivement des valeurs de $34,46 \pm 1,27$ °C et $34,56 \pm 1,19$ °C au cycle 2.

Tableau XXIV : Coefficient de perméabilité, humidité et température en fonction des traitements

Traitements	Paramètres					
	K (m.s ⁻¹)		Hcc (%)		Tcc (°C)	
	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 1	Cycle 2
ZéroF	40,24E-05±4E-05 ^a	3,72E-05±1E-05 ^a	5,00±1 ^a	7,56±0,57 ^{ab}	36,76±0,73 ^a	34,73±0,64 ^a
1%Termisol	70,52E-05±30E-05 ^a	4,05E-05±2E-05 ^a	4,66±0,57 ^a	6,60±0,51 ^b	36,93±0,80 ^a	34,66±0,80 ^a
2%Termisol	5,070E-05±1E-05 ^a	2,11E-05±8E-06 ^a	5,96±1,95 ^a	8,90±1 ^a	36,93±0,75 ^a	34,70±1,12 ^a
3%Termisol	28,00E-05±3E-05 ^a	2,09E-05±2E-06 ^a	6,30±0,51 ^a	8,90±0 ^a	37,16±0,65 ^a	34,70±1,04 ^a
4%Termisol	27,61E-05±20E-05 ^a	2,38E-05±1E-05 ^a	6,30±0,51 ^a	8,56±1,52 ^{ab}	36,96±0,60 ^a	34,56±1,19 ^a
5%Termisol	11,02E-05±7E-05 ^a	4,22E-05±8E-06 ^a	5,63±1,09 ^a	8,56±0,57 ^{ab}	37,30±0,26 ^a	34,80±0,6 ^a
6%Termisol	25,59E-05±20E-05 ^a	1,71E-05±5E-06 ^a	6,30±1,47 ^a	8,23±0,57 ^{ab}	37,00±0,65 ^a	34,70±0,52 ^a
NPK	64,54E-05±9E-05 ^a	3,09E-05±1E-05 ^a	5,33±1,15 ^a	7,56±0,57 ^{ab}	37,06±0,58 ^a	34,20±2,07 ^a
TermNat	35,25E-05±20E-05 ^a	3,27E-05±2E-05 ^a	6,30±0,51 ^a	7,90±1 ^{ab}	37,06±0,68 ^a	34,63±0,68 ^a
Fiente	58,18E-05±6E-05 ^a	4,63E-05±2E-05 ^a	5,66±0,57 ^a	7,23±0,57 ^{ab}	37,23±0,64 ^a	34,46±1,27 ^a
Cv	1,1064	0,523	0,1784	0,1213	0,015	0,0261
P	0,6221	0,3547	0,4942	0,0268	0,9944	0,9998
Effet	ns	ns	ns	*	ns	ns

ZéroF : Témoin sans fertilisant ; TermNat : Termitière naturelle ; K : coefficient de perméabilité ; Hcc : humidité à la capacité au champ ; Tcc : température à la capacité au champ ; * différence significative $P < 0,05$; ns : Différence non significative $P > 0,05$; CV : Coefficient de variation.

7.4. Mise en relation des paramètres étudiés

7.4.1 Relation entre les paramètres du sol et les paramètres de croissance végétale du riz

Les paramètres physico-chimiques du sol établissent entre eux des relations positives ou négatives tout comme les paramètres de croissance des plantes entre eux (Tableau XXV). Par ailleurs, des corrélations fortes sont positivement ou négativement établies entre les paramètres sol et les paramètres de croissance des plants de riz.

Ainsi, au niveau du sol, la teneur en matière organique est positivement corrélée à celle du magnésium ($P < 0,01$, $r = 79$), au taux d'argile avec $P < 0,05$ et $r = 75$ et à l'humidité ($P < 0,05$, $r = 64$) mais négativement corrélée au taux de saturation avec $P < 0,05$ et $r = 69$. Le taux d'argile granulométrique est quant à lui positivement lié à la teneur en magnésium ($P < 0,05$, $r = 66$). Les limons sont en corrélation positive ($P < 0,05$ et $r = 72$) avec le sable. Les proportions de sable et d'argile + Limon sont négativement corrélées ($P < 0,001$; $r = 99$), quand A+L est positivement corrélé ($P < 0,05$; $r = 75$) à L mais reste sans lien avec A. Le phosphore assimilable et le calcium établissent une corrélation négative ($P < 0,05$; $r = 69$). La CEC établit une très forte corrélation positive avec le calcium ($P < 0,001$; $r = 87$).

Tableau XXV : Matrice de corrélation des paramètres du sol et des paramètres de croissance de la plante de riz

Variables	C/Nt	M.O	P.ass	CEC	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	V	A	L	A+L	S	Dens	Surfol	Haut	MsPE	MsRac	MsTF	LgRac	Hcc	
C/Nt	1																				
M.O	0,11	1																			
P.ass	-0,24	0,29	1																		
CEC	-0,20	0,28	-0,43	1																	
Ca ²⁺	-0,13	-0,13	-0,65*	0,87***	1																
Mg ²⁺	-0,03	0,79**	0,32	0,32	-0,04	1															
K ⁺	0,45	-0,05	-0,13	-0,20	-0,28	0,05	1														
V	0,21	-0,69*	-0,14	-0,51	-0,06	-0,52	0,20	1													
A	0,50	0,75*	0,31	-0,19	-0,48	0,66*	0,34	-0,29	1												
L	-0,09	-0,42	-0,55	0,10	0,32	-0,62	-0,43	0,13	-0,58	1											
A+L	0,29	0,09	-0,43	-0,02	0,009	-0,22	-0,25	-0,06	0,09	0,75*	1										
S	-0,29	-0,15	0,41	0,001	-0,004	0,17	0,26	0,11	-0,14	0,72*	-0,99***	1									
Dens	0,17	0,34	-0,22	-0,04	-0,07	0,18	0,50	0,09	0,47	-0,24	0,08	-0,10	1								
Surfol	0,79**	0,37	-0,34	0,02	-0,07	0,17	0,71*	-0,11	0,59	-0,25	0,16	-0,19	0,55	1							
Haut	0,60	-0,11	-0,74*	-0,03	0,09	-0,22	0,61	0,19	0,19	0,26	0,48	-0,47	0,51	0,74*	1						
MsPE	0,67*	0,49	-0,37	0,07	-0,04	0,24	0,51	-0,18	0,56	-0,006	0,44	-0,47	0,54	0,89***	0,72*	1					
MsRac	0,70*	0,50	-0,27	-0,12	-0,24	0,25	0,55	-0,10	0,72*	-0,11	0,44	-0,47	0,67*	0,89***	0,73*	0,94***	1				
MsTF	0,67*	0,48	-0,38	0,09	-0,02	0,24	0,51	-0,18	0,55	0,002	0,44	-0,47	0,53	0,89***	0,71*	0,99***	0,93***	1			
LgRac	0,71*	-0,09	-0,45	-0,06	0,01	-0,28	0,65*	0,12	0,27	-0,04	0,16	-0,15	0,43	0,79**	0,79**	0,54	0,60	0,53	1		
Hcc	0,05	0,64*	0,13	0,30	-0,07	0,76*	0,44	-0,60	0,65*	-0,58	-0,19	0,14	0,39	0,47	0,15	0,39	0,42	0,38	0,22	1	

C/Nt : rapport carbone azote ; MO : matière organique ; P.ass : phosphore assimilable ; CEC : capacité d'échange des cations ; Ca²⁺ : calcium ; Mg²⁺ : magnésium ; K⁺ : potassium ; V : taux de saturation ; A : argile ; L : limon ; A+L : argile plus limon ; S : sable ; Dens : densité des plants ; Surfol : surface foliaire ; Haut : hauteur ; MsPE : biomasse de la plante entière ; MsRac : biomasse racinaire ; MsTF : biomasse aérienne ; LgRac : longueur des racines ; Hcc : humidité à la capacité au champ.

L'humidité du sol à la capacité au champ est faiblement, mais positivement corrélée avec le taux de matière organique ($P < 0,05$; $r = 64$), au calcium ($P < 0,05$; $r = 76$) et à l'argile ($P < 0,05$; $r = 65$).

Au niveau de la plante de riz, la surface foliaire a une corrélation positive très forte ($P < 0,001$) avec la biomasse sèche de la plante entière, la racine et la partie aérienne et une forte corrélation ($P < 0,01$; $r = 0,79$) avec la longueur de la racine. Cependant, elle a établi une faible corrélation avec la hauteur de la plante ($P < 0,05$; $r = 74$). De même, la biomasse racinaire, celle de la plante entière et celle de la partie aérienne sont très fortement et positivement corrélées ($P < 0,001$). La hauteur de la plante est en faible corrélation positive avec les biomasses sèches racinaire, aérienne et de la plante entière et fortement corrélée positivement à la longueur de la racine. La densité à la récolte est faiblement et positivement corrélée à la biomasse sèche racinaire de la plante.

Les relations sol-plante sont mises en relief par quelques corrélations positives ou négatives. La surface foliaire est fortement et positivement corrélée au rapport carbone/azote, et faiblement corrélée au potassium. Le phosphore assimilable est faiblement et négativement corrélé à la hauteur des plantes ($P < 0,05$; $r = 0,74$). Le rapport C/Nt est faiblement corrélé à la biomasse sèche totale, aérienne et racinaire et la longueur des racines des plantes. La teneur en argile est positivement corrélée ($P < 0,05$; $r = 0,72$) la biomasse sèche racinaire de la plante. La projection dans le plan factoriel 1-2 (Figure 34A) associe positivement l'humidité du sol à la capacité au champ (Hcc), le taux d'argile (A), le C/Nt, le K^+ et à l'axe 1 pour le sol, et lui associe positivement, tous les paramètres de croissance de la plante de riz. Elle associe positivement à l'axe 2, le Mg^{2+} , la MO, le P.ass mais négativement la proportion de limon (L). La carte factorielle définit ainsi, trois groupes de fertilité (Figure 34B). Le groupe 1 regroupant les traitements ZéroF, NPK, TermNat et 1%Termisol est celui de fertilité minérale. Le groupe 2 constitué par le seul traitement à base de fiente de poulet, est celui de fertilité organique quand le groupe 3 regroupant les traitements à base de "Termisol" dosé de 2 à 6 % se caractériserait par le caractère organominéral.

La description des axes factoriels confirme les trois groupes (Tableau XXVI). Le groupe 1 regroupant les traitements ZéroF, NPK, TermNat et 1%Termisol se caractériserait par la proportion de sable et une influence négative de A+L et des variables de croissance telles que la hauteur des plantes, la surface foliaire et la biomasse sèche.

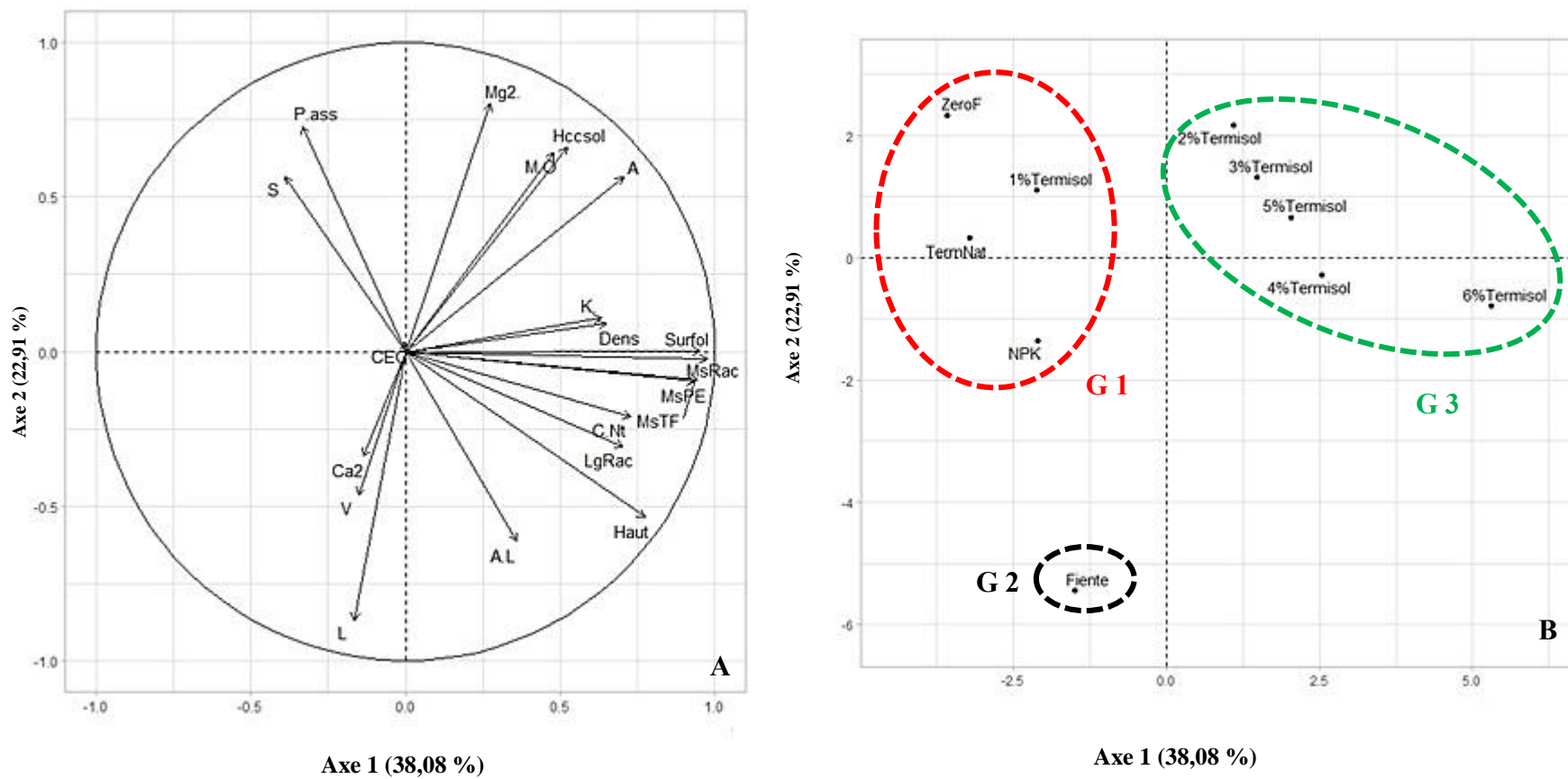


Figure 33 : ACP associant les paramètres du sol et de croissance des plants de riz

Le groupe 2 constitué par le seul traitement à base de fiente de volaille est caractérisé par la proportion d'argile, de A+L et une influence négative du sable et du Mg²⁺. Le groupe 3 comprenant les traitements à base de "Termisol" dosé de 2 à 6 % est caractérisé par la proportion d'argile, de MO, de l'humidité du sol et une influence positive des variables de croissance telles que la surface foliaire et la biomasse sèche (Tableau XXVI).

Tableau XXVI : Descriptif des différents groupes formés dans le plan 1-2 par les variables d'étude

Groupes	Variables	V. test	Moy.groupe	Sd.groupe	Valeur de p
Groupe 1	S	2,05	82,19	0,75	0,039
	A+L	-2,00	16,76	0,68	0,044
	Haut	-2,04	47,22	2,01	0,040
	Surfol	-2,17	36,30	1,82	0,029
	MsRac	-2,32	0,87	0,06	0,019
	MsTF	-2,38	9,00	0,87	0,016
	MsPE	-2,40	9,89	0,89	0,016
Groupe 2	L	2,71	20,95	0	0,006
	A+L	2,14	24,32	0	0,031
	S	-2,02	74,84	0	0,042
	Mg ²⁺	-2,08	0,45	0	0,036
Groupe 3	MsPE	2,59	13,87	1,20	0,009
	MsTF	2,57	12,69	1,13	0,009
	MsRac	2,56	1,15	0,09	0,010
	Surfol	2,55	45,79	3,66	0,010
	A	2,31	7,92	0,50	0,020
	HccSol	2,17	7,20	0,33	0,029
	MO	1,98	1,52	0,15	0,046

V. test : variable du test d'homogénéité, Moy.groupe : Moyenne de variable pour le groupe considéré, Sd.groupe : Ecartype de la variable du groupe, p : probabilité associée au test d'homogénéité. Les valeurs positives de V. test indiquent un effet positif de la variable pour le groupe

7.4.2. Relation entre les paramètres du sol et les paramètres de production du riz

La relation entre les critères de production et le sol est définie par des corrélations positives à des niveaux de significativités différents (Tableau XXVII).

Les relations sol-production sont mises en relief par quelques corrélations positives. Le nombre de talles fertiles est faiblement et positivement corrélé au potassium ($P < 0,05$ avec $r = 65$) et à l'humidité à la capacité au champ ($P < 0,05$ avec $r = 69$). Le nombre total de talles est très fortement ($P < 0,001$ avec $r = 94$) corrélé au nombre de talles fertiles et fortement corrélé ($P <$

0,01 avec $r = 81$) au rendement frais qui est en lien faible ($P < 0,05$ avec $r = 75$) avec le poids de 1000 grains et en corrélation forte ($P < 0,01$ avec $r = 79$) avec le nombre de talles fertiles.

La projection sur le plan factoriel 1-2, associe sur l'axe 1, positivement, les paramètres de production (nombre total de talles, nombre de talles fertiles, PMG et rendement frais), la MO, le Mg^{2+} , l'humidité à la capacité au champ et le taux d'argile du sol. Elle associe à l'axe 2, les limons et la somme A+L positivement et négativement, le taux de sable et le P.ass (Figure 36A).

Le plan factoriel définit trois groupes identiques à ceux décrits dans la relation sol-facteurs de productivité du riz (Figure 36B). Le groupe 1, organique et à productivité moyenne se caractériserait par des sols à dominance de limon et d'argile+limon. Le groupe 2, minéral et à bas rendement se caractériserait par des sols à forte concentration de sable et pauvre en matière organique et en argile. Le groupe 3, organominéral et à forte productivité se caractériserait par des sols avec de bonnes teneurs en matière organique, d'argile et d'une bonne capacité de rétention en eau. En plus, ces sols favoriseraient un bon tallage et des grains à forte PMG.

La description des axes factoriels confirme ces trois groupes (Tableau XXVIII). Le groupe 1 constitué par le seul traitement à base de fiente de volaille est caractérisé par la proportion d'argile, de A+L et une influence négative du sable et du Mg^{2+} et le groupe 2 regroupant les traitements ZéroF, NPK, TermNat et 1%Termisol se caractériserait par la proportion de sable et une influence négative de A+L et des variables de production telles que le poids de 1000 grains, le rendement frais, le nombre total de talles et le nombre de talles fertiles. Le groupe 3 comprenant les traitements à base de "Termisol" dosé de 2 à 6 % est caractérisé par la proportion d'argile, de MO, de l'humidité du sol et une influence positive des variables de production telles que le poids de 1000 grains, le rendement frais, le nombre total de talles et le nombre de talles fertiles.

Tableau XXVII : Matrice de corrélation des paramètres du sol et des paramètres de production végétale

Variables	C/Nt	M.O	P.ass	CEC	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	V	A	L	A+L	S	TalTot	Talfert	PMG	rdfrais	Hcc
C/Nt	1																
M.O	0,11	1															
P.ass	-0,24	0,29	1														
CEC	-0,20	0,20	-0,43	1													
Ca ²⁺	-0,13	-0,13	-0,65*	0,87***	1												
Mg ²⁺	-0,03	0,79**	0,32	0,32	-0,04	1											
K ⁺	0,45	-0,05	-0,13	-0,29	-0,28	0,05	1										
V	0,21	-0,69*	-0,14	-0,51	-0,06	-0,52	0,20	1									
A	0,50	0,75*	0,31	-0,19	-0,48	0,66*	0,34	-0,29	1								
L	-0,09	-0,42	-0,55	0,10	0,32	-0,62	-0,43	0,13	-0,58	1							
A+L	0,29	0,09	-0,43	-0,02	0,009	-0,22	-0,25	-0,06	0,09	0,75*	1						
S	-0,29	-0,15	0,41	0,001	-0,004	0,17	0,26	0,11	-0,14	-0,72*	-0,99***	1					
TalTot	0,43	0,44	-0,34	0,24	0,06	0,24	0,51	-0,34	0,58	-0,20	0,21	-0,24	1				
Talfert	0,47	0,34	-0,23	-0,01	-0,18	0,09	0,65*	-0,26	0,57	-0,24	0,16	-0,18	0,94***	1			
PMG	0,81**	0,17	-0,11	-0,35	-0,30	-0,10	0,58	0,26	0,49	-0,07	0,30	-0,31	0,49	0,59	1		
rdfrais	0,50	0,49	-0,34	0,11	0,02	0,12	0,43	-0,13	0,52	-0,01	0,39	-0,42	0,81**	0,79**	0,75*	1	
Hcc	0,05	0,64*	0,13	0,30	-0,07	0,76*	0,44	-0,60	0,65*	-0,58	-0,19	0,14	0,69*	0,60	0,08	0,38	1

C/Nt : rapport carbone azote ; MO : matière organique ; P.ass : phosphore assimilable ; CEC : capacité d'échange des cations ; Ca²⁺ : calcium ; Mg²⁺ : magnésium ; K⁺ : potassium ; V : taux de saturation ; A : argile ; L : limon ; A+L : argile plus limon ; S : sable ; TalTot : nombre total de talles par plant ; Talfert : nombre de talles fertiles par plant ; PMG : poids des 1000 grains ; Rdfrais : rendement frais ; Hcc : humidité à la capacité au champ.

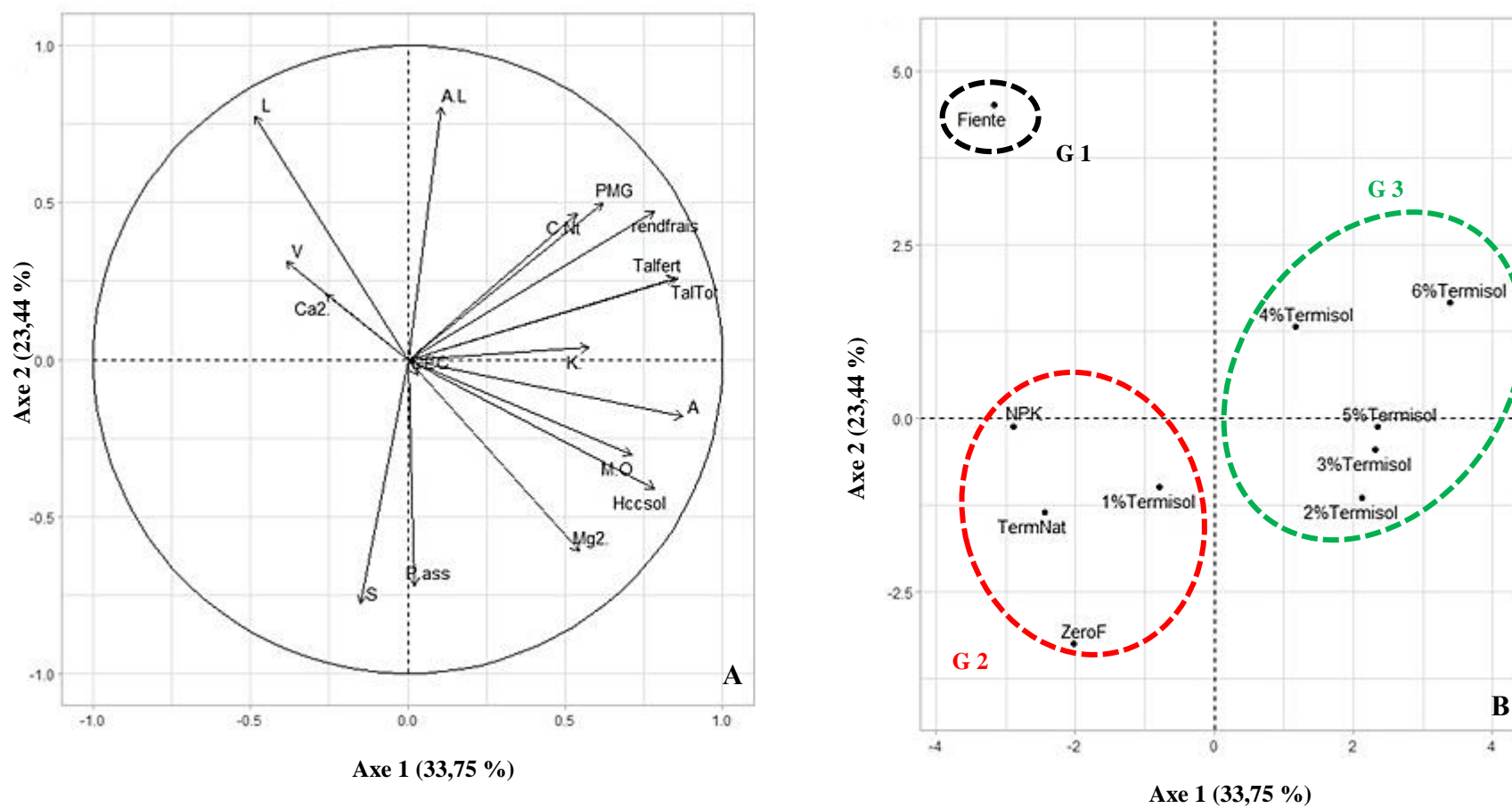


Figure 34 : ACP associant les paramètres du sol et de production du riz

Tableau XXVIII : Descriptif des différents groupes formés dans le plan ACP par les variables d'étude

Groupes	Variables	V. test	Moy.groupe	Sd.groupe	Valeur de p
Groupe 1	L	2,71	20,95	0	0,0066
	A+L	2,14	24,32	0	0,031
	S	-2,02	74,84	0	0,042
	Mg ²⁺	-2,08	0,45	0	0,036
Groupe 2	S	2,05	82,19	0,75	0,039
	A+L	-2,00	16,76	0,68	0,044
	PMG	-2,03	22,02	0,82	0,041
	Talfert	-2,11	2,53	0,15	0,034
	TalTot	-2,22	3,55	0,11	0,026
	rendfrais	-2,24	3,67	0,38	0,025
Groupe 3	rendfrais	2,37	4,42	0,12	0,017
	TalTot	2,37	4,06	0,22	0,017
	Talfert	2,31	3,04	0,23	0,020
	A	2,31	7,92	0,50	0,020
	Hccsol	2,17	7,20	0,33	0,029
	PMG	2,10	24,24	1,19	0,035
	MO	1,98	1,52	0,15	0,046

V. test : variable du test d'homogénéité, Moy. groupe : Moyenne de variable pour le groupe considéré, Sd.groupe : Ecartype de la variable du groupe, p : probabilité associée au test d'homogénéité. Les valeurs positives de V. test indiquent un effet positif de la variable pour le groupe.

7.5. Discussion

Les résultats des analyses physico-chimiques du sol et du "Termisol" avant culture ont montré que le pH du "Termisol" (7,12) est élevé que celui du sol de la parcelle (5,23). Le "Termisol" présente une bonne teneur en azote organique total (0,26 %), en carbone organique total (3,41), en matière organique (5,86), en phosphore assimilable (78 mg.kg⁻¹) et un rapport C/N de 12,48 favorable pour une bonne minéralisation de la matière organique. Ces résultats corroborent ceux de Soro *et al.* (2021) sur le produit résiduaire de termitière et de Ballot *et al.* (2016) avec les terres de termitières (*Cubitermes spp.*). Ces auteurs ont montré que ces substrats étaient plus pourvues en éléments minéraux, et avaient un pH à la neutralité. Les faibles valeurs des caractéristiques du sol à amender sont à mettre au compte de l'origine de celui-ci, des conditions climatiques. En effet, l'origine lithologique et les conditions de la pédogénèse tropicale font de la plupart des sols, des sols à faible fertilité (Pallo *et al.*, 2008 ; Bationo, 2009). De plus, ces

sols sont mis en culture avec des systèmes de culture qui les exposent à l'érosion et/ou à l'appauvrissement (Bacyé & Boro, 2011).

Le pH est un paramètre important dans la dynamique du sol car il a une influence sur trois composantes importantes de la fertilité d'un sol que sont la biodisponibilité des nutriments, l'activité biologique et la stabilité structurale (Dinon & Gerstmans, 2008). Lorsque le pH tend vers la neutralité, cela entraîne l'accélération de l'activité de la biomasse microbienne et améliore la mise à disposition de la matière organique aux micro-organismes du sol (Fabre & Kockmann, 2006). Selon Kemmit *et al.* (2006), à des valeurs de pH faibles, une bonne partie de la matière organique reste inactive car l'activité microbienne se trouve fortement limitée. L'apport du "Termisol" aux parcelles contribue donc à réduire l'acidité du sol.

Le rapport C/N de 12,48 dans le "Termisol" est très favorable pour une bonne minéralisation de la matière organique (Genot *et al.*, 2009). La qualité des amendements et leur capacité à fournir l'azote sont généralement évaluées par le rapport C/N (Stevenson, 1994). Selon cet auteur, les amendements à rapport C/N inférieur à 20 se décomposent plus vite, l'azote se minéralise rapidement, et sont considérés comme étant de bonne qualité. Le "Termisol" a une bonne teneur en matière organique. Cette matière organique a joué un rôle physique dans le sol, un rôle chimique dans la nutrition des plantes à travers des actions de dégradation et de minéralisation, et a assuré aussi un rôle biologique dans la stimulation de l'activité biologique (Hubert & Schaub, 2011).

La bonne teneur en phosphore assimilable, en bases échangeables et la capacité d'échanges cationiques (CEC) du "Termisol" ont permis une bonne nutrition des cultures. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Saragoni *et al.* (1992) et La France *et al.* (2012) qui ont conclu que, les principaux types des sols sont caractérisés par l'état de leur complexe et la nature des cations fixés. Les caractéristiques chimiques de ce produit issu de piégeage en pots des termites sont proches de celles des terres issues des termitières décrites par Ballot *et al.* (2016). Le "Termisol" serait donc l'un des principaux facteurs responsables de l'amélioration des paramètres de croissance du riz au cours de cette étude.

Les analyses physico-chimiques des sols après les essais, montrent une perte de matière organique et de cations échangeables dans les sols de presque tous les traitements après le deuxième cycle de culture. Les résultats obtenus concordent avec ceux de Boga (2007) qui justifie ces pertes par la percolation, l'entraînement par ruissellement et l'utilisation des matières organominérales par les plantes.

Les valeurs initiales de pH (5,23) des horizons supérieurs du site d'étude indiquent un sol acide. Ces faibles valeurs de pH pourraient favoriser une faible nitrification, une déficience en

phosphore, des toxicités aluminiques et manganiques, la grande disponibilité de certains métaux lourds (Landon, 1991) et induire une faible assimilation de nutriments tels que l'azote, le phosphore, le potassium, le magnésium et le soufre (Yao-Kouamé, 2008). L'apport du "Termisol" a sensiblement relevé le pH par la minéralisation des matières organiques qu'il contient (Bado, 2002). Aussi, la teneur en calcium a varié dans des proportions normales après les deux cycles de l'essai et cette teneur est plus élevée sur les traitements amendés au "Termisol" en dépit du prélèvement de ce cation par les plantes. Cet enrichissement en calcium est attribuable à l'activité des termites. L'ion calcium neutralise les ions responsables de l'acidité du sol en les déplaçant du complexe argilo-humique. Plus les quantités de Ca^{2+} sont fortes, plus la neutralisation des ions H^+ et Al^{3+} est importante et, par conséquent, l'acidité réduite (Djébré, 2008). Le Ca^{2+} des sols permet une augmentation de la quantité d'azote minéralisé et améliore l'aération et la rétention de l'eau du sol (Peltier, 2001 ; Bortoluzzi & Tessier, 2002 ; Kouadio, 2012).

Au cycle 2, le taux de l'azote total dans les traitements a baissé. Cette diminution pourrait être due à une réduction considérable du stock des molécules organiques qui deviennent difficilement dégradables par les organismes du sol, à l'extinction ou à la réduction des colonies de micro-organismes ou à une dessiccation du sol (Boga, 2007). En effet, l'apport du "Termisol" au sol, influence la prolifération des micro-organismes. Ces derniers s'activent et dégradent plus ou moins intensément les grosses molécules organiques. Les sous-produits de cette dégradation (C, N, P_2O_5 , K^+ et autres éléments minéraux) sont libérés dans le sol et rendus disponibles aux autres organismes et aux plantes. Au bout d'une période culturale, l'activité des micro-organismes diminue dans les sols si l'amendement n'est pas renouvelé comme ce fut le cas de l'apport du "Termisol" (avant le premier cycle). Aussi, Alamnia & Tando (2001) ont relevé qu'à chaque cycle cultural, la minéralisation de l'azote dans les sols diminue presque de moitié, puis atteint des valeurs faibles en fin d'expérimentation.

De faibles apports de "Termisol" induisent des réponses satisfaisantes sur certains facteurs de fertilité au niveau de certains traitements. Ces résultats confirment ceux de Ndiaye *et al.* (2003) qui stipulent que le sol de termitière peut agir par effet indirect sur la nutrition de la plante en induisant la prolifération d'un champignon mycorhizien symbiotique sur les racines des plants qui se chargerait de minéraliser l'azote.

Les faibles rapports C/N sur les parcelles amendées au "Termisol", témoignent de l'intensification de l'activité des micro-organismes décomposeurs des sols et d'une grande disponibilité de l'azote dans le sol (Pamo *et al.*, 2005).

Les parcelles amendées avec 3 % à 6 % de "Termisol" conservent des teneurs élevées en certains éléments organiques et minéraux comparées aux autres parcelles. Cependant, le traitement 4%Termisol a présenté le meilleur arrière effet avec des valeurs physico-chimiques supérieures aux autres traitements. En effet, ce traitement cumule le plus d'argile et limon (28,35 %), a une teneur de MO de 1,68 %, un rapport de C/N de 17,43, une CEC de 1,6 cmol.kg⁻¹ et un taux de saturation du complexe de 93,70 %. Toutefois, cette amélioration de la proportion de limon reste forte avec l'apport de fiente.

À la fin des travaux, la perméabilité et le taux d'humidité à la capacité au champ ont été améliorés. Cela pourrait s'expliquer par les proportions en calcium qui sont restées normales après les deux cycles en lien avec le taux de matière organique plus élevé et un enrichissement en argile et limon. La matière organique et l'argile ont une plus grande aptitude à la rétention en eau. L'apport de "Termisol" sur ce sol sableux a contribué à réduire la perméabilité et donc à améliorer la capacité de rétention en eau du sol. En effet, les travaux de Bortoluzzi & Tessier (2002), ont montré que le calcium influence énormément les propriétés des sols en agissant comme liant des agrégats du sol, de la fraction argileuse et de la matière organique. Il assure ainsi la cohésion des agrégats et l'adhésion avec les autres agrégats, dans l'édification de la structure et de la porosité du sol (Yemefack *et al.*, 2004).

Les termites, par leur capacité de fouineurs-constructeurs, prospectent les horizons de profondeur et transportent les fractions fines ; argile, limons et même des grains de sable fins vers les horizons de surface. C'est cette capacité qui a été exploitée dans cette étude pour améliorer la texture de ce sol sableux et les aptitudes agronomiques. En effet, Grassé (1950) établissait déjà que dans des zones littorales, en puisant dans les horizons de profondeur, les termites renforçaient la teneur en argile des sols sableux. Le piégeage des termites développé par l'homme favoriserait la production de "Termisol" dominé par la terre fine et les déjections des termites et dont le potentiel de fertilité facilitera un usage agronomique car contribuant à la fertilité physique et chimique du sol.

Conclusion partielle

L'effet global de l'amendement a été d'augmenter les réserves nutritives du sol en matière minérale et organique et d'améliorer la production du riz. À la suite de leur exploitation, pendant deux cycles consécutifs, les stocks nutritifs ont été réduits, mais à des proportions différentes selon le type de traitement.

Les traitements amendés avec 3 % à 6 % de ‘‘Termisol’’ conservent des teneurs relativement élevées en certains éléments organiques et minéraux comparées aux autres traitements. Cependant, le traitement 4% Termisol a présenté un arrière effet plus intéressant montrant ainsi que l’effet de l’amendement au ‘‘Termisol’’ peut persister dans le sol même deux ans après l’application.

Au vu de ces résultats, le ‘‘Termisol’’ peut être utilisé comme amendement pour l’amélioration de la fertilité des sols.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

La présente étude avait pour objectif générale de contribuer à l'amélioration de la productivité du riz pluviale par la digestion des résidus agricoles par les termites en semi-captivité. Pour atteindre cet objectif, quatre axes principaux dont les réponses ont constitué l'essentiel de ce travail ont été dégagés.

Les deux premiers objectifs spécifiques de ce travail étaient de caractériser le produit résiduaire issu de l'activité des termites dans le piège et d'identifier les termites impliqués dans la production de ce produit résiduaire. Les résultats ont montré que la production du produit résiduaire a mis en évidence la dégradation des résidus agricoles par les termites et la remontée de constituants minéraux fins du sol pour constituer un substrat à composition organique et minérale. La caractérisation du produit résiduaire des termites montre des teneurs importantes en argile et en limon, en azote total, en carbone organique, en matière organique, en phosphore assimilable, en calcium et une meilleure capacité d'échange cationique. Les termites impliqués dans la production du produit résiduaire appartiennent majoritairement au groupe trophique des champignonnistes avec les genres *Ancistrotermes*, *Macrotermes*, *Odontotermes*, *Pseudacanthotermes* et au groupe trophique des fourrageurs avec le genre *Trinervitermes*. Ce substrat est doté d'un potentiel de fertilité physique et chimique des sols.

Le troisième objectif spécifique de ce travail était de confirmer la capacité fertilisante de ce produit en riziculture pluviale. Les résultats ont prouvé que les différentes doses du produit résiduaire organique des termites ont influencé positivement les paramètres de croissance et de productivité du riz (nombre total de talles, le nombre de talles fertiles et la précocité). Le rendement frais (3,25 t.ha⁻¹) après deux cycles sur parcelle amendée au "Termisol" est supérieur à celui obtenu (2,5 t.ha⁻¹) en milieu paysan avec la variété de riz IDSA 10.

Enfin, le dernier objectif consistait à déterminer l'influence de l'amendement au produit résiduaire des termites sur les propriétés physico-chimiques du sol. Les analyses physico-chimiques des sols, après les essais, ont montré une régression du taux de M.O et de cations échangeables dans les sols de presque tous les traitements après le cycle 2. Cependant, les parcelles amendées avec 3 % à 6 % de "Termisol" ont conservé des teneurs élevées en certains éléments organiques et minéraux comparées aux autres parcelles. Le traitement 4%Termisol a présenté un meilleur arrière effet avec des valeurs physico-chimiques plus ou moins supérieures aux autres traitements. Ce résultat a montré que l'effet de l'amendement au "Termisol" peut permettre au moins deux cycles consécutifs de cultures. L'application de ce "Termisol" réduit le recours aux engrais chimiques.

La valorisation des nombreux sous-produits agricoles de l'agriculture ivoirienne peut contribuer à réduire la perte de productivité des sols et redynamiser diverses filières agricoles. Cette valorisation ne peut se faire sans l'intervention d'organismes au remaniement des sols tels que les termites. À cet effet, le piégeage des termites, développé par l'homme pour collecter des termites en vue de l'alimentation de la volaille favorise la production d'une substance organominérale dominée par la terre fine et les déjections des termites. Le potentiel de fertilité de cette substance est clairement démontré et son application en riziculture a permis d'atteindre des améliorations de rendement pouvant atteindre des surplus de rendement de 50 % par rapport à un témoin sans fertilisant.

Toutefois, les contraintes majeures à l'usage du "Termisol" restent la maîtrise de ces insectes sociaux aux dégâts multiples sur les cultures ainsi que les quantités de résidus de récoltes nécessaires. Ces contraintes pourraient être levées par l'amélioration et la vulgarisation de la technologie de piégeage de termites empruntée aux éleveurs de volailles. Cela permettra de réduire les dégâts de ces arthropodes et gérer durablement la fertilité des sols.

Cette étude mérite d'être étendue afin :

- d'élaborer une stratégie de production et de vulgarisation écologique de ce produit ;
- de préciser les doses d'application économiquement rentables pour une vulgarisation ;
- de tester l'épandage du produit résiduaire brut issu de la zone de collecte libre ;
- d'identifier les espèces responsables de la production du "Termisol" ;
- de tester le "Termisol" selon les espèces ;
- d'utiliser de la terre de termitière morte en comparaison avec le "Termisol" ;
- de tester différentes doses d'humidité des résidus pour la production du "Termisol" ;
- de faire un test multilocal ;
- de combiner le "Termisol" à la fiente pour application ou à un autre fertilisant.

RÉFÉRENCES

- Abiven S., Manasseri S. & Chenu C. (2009). The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability- A literature analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 41 : 1-12.
- Adamou I., Pierre N. J., Pogenet P., Tchimbi B. & Gonlaine G. (2007). Soil degradation in the Sudano-Guinea savannas of Mbe, Cameroon: farmers' perception, indicators and soil fertility management strategies. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3 : 907 - 916.
- ADRAO (1995). Formation en production rizicole, manuel du formateur. *Edition Sayce publishing*. Royaume Uni, 305 p.
- ADRAO (1998). De nouveaux riz pour l'Afrique. Rapport d'activités, Bouaké, Côte d'Ivoire, 20 p.
- ADRAO (2001). Potentiel d'une révolution verte dans le domaine de la riziculture en Afrique de l'Ouest et du Centre. Rapport de la deuxième réunion biennale ADRAO/Comité des experts nationaux, n° 2. 20-21 mars 2000. M'bé, Bouaké, Côte d'Ivoire, 32 p.
- AFNOR (1999). Détermination du pH. In : AFNOR. Qualité des sols, Association Française de Normalisation - AFNOR NF ISO 10390, Paris, France, 339 - 348.
- AFROL News (2008). Termites and humans searching more gold in Mali. [Online] URL: <http://www.afrol.com/index.php>.
- Ahmed K. D. (2014). Insertion des Produits Résiduaire Organiques dans les systèmes de culture : Cas des systèmes céréaliers de la Plaine de Versailles et du Plateau des Alluets. Thèse de Doctorat Sciences agricoles. AgroParisTech, Français, 233p.
- Akanza K. P. (2010). Effets du fumier de volailles sur la fertilité organo-minérale des sols soumis aux cultures de maïs (*Zea mays* L. *Poaceae*), riz (*Oryza saliva* L. *Poaceae*), manioc (*Manihot esculenta* Crantz *Euphorbiaceae*) dans la région des montagnes, à Man (Côte d'Ivoire). Thèse de Docteur d'Etat ès-Sciences Naturelles, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Laboratoire de Pédologie et de Géologie Appliqué, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 186 p.
- Akanza P., N'zue B. & Anguete K. (2002). Influence de la fumure minérale et de la litière de volaille sur la production du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine* 14 : 79 - 89.

- Akanza P. K. & Yoro G. (2003). Effets synergiques des engrais minéraux et de la fumure de volaille dans l'alimentation de la fertilité d'un sol ferrallitique de l'Ouest de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 15 (3) : 135 - 144.
- Akpesse A. A. M., Kouassi K. P, Tano Y. & Lepage M. (2008). Impact des termites dans les champs paysans de riz et de maïs en savane subsoudanienne (Booro- Borotou, Côte d'Ivoire). *Sciences et Nature*, 5 (2):121 - 131.
- Alamnia S. M. & Tando J. (2001). Plants growing on the soil subsist on the products of microbial activity. *Micro-organisms and Soil Fertility*, 3 : 76 - 79.
- Albaladejo J., Castillo V. & Diaze E. (2000). Soil loss and runoff semiarid land as amended with urban solid refuse. *Land Degradation and Development* 11: 363 - 373.
- Alvarez M. A. B., Gagne S. & Antoun H. (1995). Effect of compost on rhizosphere microflora of the tomato and the incidence of plant growth-promoting rhizobacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 61: 194 - 199.
- Anderson J. M. & Swift M. J. (1983). Decomposition in tropical forests. In: Sutton S. L., Whitmore T. C., Chadwick A. C. (eds) Tropical rain forest ecology and management. *Blackwell Scientific Publications*, Oxford, 287 - 309.
- Anderson J. M. & Ingram J. (1989). Tropical soil biology and fertility programme. *Methods handbook*. C.A.B. Oxford, 171 p.
- Anderson J. M. & Ingram J. S. I. (1993). Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods, *CAB International*, Wallingford, UK, 221 p.
- Angladette A. (1966). Le riz. Techniques Agricoles et Productions Tropicales. *Editions G-P Maisonneuve et Larose*, Paris, France, 930 p.
- Assa A. (2005). Précis de pédologie à l'usage des étudiants du second cycle des études universitaires. Editions Universitaires de Côte d'Ivoire, 92 p.
- Audebert A & Fofana M. (2009). Rice Yield gap due to iron toxicity in West Africa. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195 : 66 - 76.
- Audebert A., Narteh L. T., Kiepe P., Millar D. & Beks B. (2006). Toxicité ferreuse dans les systèmes à base riz d'Afrique de l'Ouest. ADRAO, Cotonou (Benin), 196 p.

- Avenard J. M. (1971). Aspects de la géomorphologie. In Avenard J.M., Eldin M., Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf P., Guillaumet J.L., Adjanooun E. & Perraud A. (eds). *Le Milieu Naturel de Côte d'Ivoire, Mémoire ORSTOM*, Paris (France) : 7 - 70.
- Bacyé B & Boro A. (2011). Study of organic matter flows in the Western cotton zone of Burkina Faso. *Tropicultura*, 29 (3): 148 - 152.
- Bado B.V. (2002). Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones Guinéenne et Soudanienne du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Département des sols et de génie agroalimentaire, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université de Laval (Québec), 197 p.
- Baize D. (2000). Guide des analyses en pédologie : choix, expression, présentation, interprétation. 2^e éd, *INRA-Paris*, 255 p.
- Bakker J. P. (1998). The impact of grazing to plant communities. In : *Grazing and conservation management*, WallisDeVries, M.F.Bakker, J.P.Wieren, S.E. van - Dordrecht (Netherlands): *Kluwer Academic Publishers*, 11 : 137 - 184.
- Ballot C, Wango S, Atakpama W, Sembella S, Zinga I, Batawila K & Akpagana K. (2016). Amélioration des rendements de la culture du manioc (*Manihot esculenta*, Crantz, Euporbiale, Euporbiaceae) par les terres de termitières dans la zone de savane de Damara en République Centrafricaine. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 4(2) : 40 - 53.
- Barima Y. S. S., Kouakou A. T. M., Bamba I., Sangne Y. C., Godron M., Andrieu J. & Bogaert J. (2016). Cocoa crops are destroying the forest reserves of the classified forest of Haut-Sassandra (Ivory Coast). *Global Ecology Conservation*, 8 : 85 - 98.
- Batamoussi M. H., Tovihoudji P. G., Tokore O. M. S. B. J., Boulga J. & Essegon M. I. (2016). Effet des engrais organiques sur la croissance et le rendement de deux variétés de tomate (*Lycopersicum Esculentum*) dans la commune de Parakou (Nord Bénin). *International Journal of Science and Research*, 24 (1): 86 - 94.
- Bationo A. (2009). Constraints and new opportunities for achieving a green revolution in Sub-Saharan Africa through Integrated Soil Fertility Management. The Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI, UC Davis, 6p.

- Bationo A., Nandwa S. M., Kimetu J. M., Kinyangi J. M., Bado B. V., Lompo F., Kimani S., Kihanda F. & Koala S. (2004). Sustainable intensification of crop-livestock systems through manure management in eastern and western Africa: Lessons learned and emerging research opportunities. *Sustainable Crop-Livestock Production in West Africa* : 173 - 198.
- Bationo A, Waswa B, Kihara J. & Kimetu J. (2006). Advances in integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: Challenges and opportunities. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 76 : 2 - 3.
- Bell P.F., Boquet D., Millhollon E., Moore S., Ebelhar W., Mitchell C., Varco J., Funderburg E., Kennedy C., Breitenbeck G., Craig C. & Holman M. (2001). Major improvement in nitrogen critical values for tissue testing cotton using leaf-blades [Online]. Available by Louisiana State University <http://www.agronomy.lsu.edu/AN2001pdf/bell.pdf>.
- Bert M. & Michel de Vries (2014). Améliorer la riziculture de bas-fonds. Conseils pratiques de gestion à l'usage des petits paysans en Afrique tropicale, *Fondation Agromisa et CTA, Wageningen*, 102 p.
- Bertschinger L., Christian G., Ryser J.P., Häseli A., Neuweiler R., Pfammatter W., Schmid A. et Weibel F. (2003). Données de base pour la fumure en arboriculture fruitière, Fruits à pépins, fruits noyau, kiwis, baies d'arbustes. *Edition : Eidgenössische Forschungsanstalt, Postfach 185, CH-8820 Wädenswil*, 48 P.
- Beugré M. M., Ayolié K., Yapo S. E-S., Silué T. A & Kouadio Y. J. (2020). Effet fertilisant du sol de *Macrotermes bellicosus* sur la croissance végétative de deux accessions de niébé (*Vigna unguiculata* (L) Walp) à Daloa, Côte d'Ivoire, *Afrique Science*, 16 (6) : 38 - 50
- Bignell D. E., Oskarsson H. & Anderson M. J. (1980). Distribution and abundance of bacteria in the gut of a soil-feeding termite *Procupitermes aburensis* (Termitidae, Termitinae). *Journal of General Microbiology*, 117 : 393 - 403.
- Bignell D.E. & Eggleton P. (2000). Termites in Ecosystems. *In : Abe T., Bignell D.E., Higashi M. (eds) Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology. Springer, Dordrecht* : 363 - 387. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3223-9_17.

- Bigot Y. (1977). Fertilisation, labour et espèce cultivée en situation de pluviosité incertaine du centre de Côte d'Ivoire : Synthèse des principaux résultats d'un test de différents systèmes culturaux de 1967 à 1974. *Agronomie Tropicale*, 3 : 242 - 247.
- Binaté-Fofana N. (1996). Les femmes et l'intensification rizicole : Etude des systèmes de production à Korhogo au Nord et à Gagnoa au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, 3^e cycle, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion, CIRES, Abidjan (Côte d'Ivoire), 145 p.
- Boa D. (1989). Caractérisation, propriétés hydrodynamiques, contraintes et potentialités des sols gravillonnaires : cas de Booro-Borotou, région de Touba, Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat Ingénieur, Université d'Abidjan (Côte d'Ivoire), 134 p.
- Bodot P. (1967). Étude écologique des termites des savanes de basse Côte d'Ivoire. *Insectes Sociaux*, 14 (3) : 229 - 258.
- Boga J. P., Kouassi P., Yapi A., Tahiri A. & Tano Y. (2000). Influence de matériaux termitiques sur quelques paramètres agronomiques de deux cultures vivrières en milieu de savane de Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 12 (1) : 1 - 10.
- Boga J. P. 2007. Etude expérimentale de l'impact de matériaux de termitières et de la paille sur la levée, la croissance, le rendement du maïs et du riz et la fertilité des sols cultivés en savane sub-soudannienne : Booro-borotou, Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire. 231 p.
- Bortoluzzi E. C. & Tessier D. (2002). La pratique du chaulage en système de semis direct : une expérience au Sud du Brésil (Rio grande do sul). *Etude et Gestion des Sols*, 9 (3) : 187 - 196.
- Bouillon A. & Mathot G. (1965). Quel est ce termite Africain ? *Zooleo N°1*, Ed. de l'Université, Léopoldville, 115 p.
- Bovey R., Baggiolini M., Bolay A., Bovay E., Corbaz R., Mathys G., Meylan A., Murbach R., Palet F., Savary A. & Trivelli G. (1972). Les symptômes de carence en éléments nutritifs. *Capital Sol*, 10, 17 p.
- Boyer J. (1968). Micromorphologie du sol. Compte rendu de séminaire. In : *Bulletin Bibliographique de Pédologie*. ORSTOM, 17 (1) : 13-15. Boyer P. (1971). Les différents

- aspects de l'action des termites sur les sols tropicaux. *In : La vie des sols, Pesson P. (Ed.), Paris ; Gauthiers-Villars : 281 - 334.*
- Brauman A. & Fall S. (1997). Impact des termites humivores et de leur microflore digestive sur la transformation de la matière organique du sol. Laboratoire de microbiologie du sol, centre ISRA-ORSTOM de Bel- Air, Dakar (Sénégal), 9 p.
- Brauman A., Majeed M. Z., Buatois B., Robert A., Pablo A-L. & Miambi E. (2015) Nitrous Oxide (N₂ O) Emissions by Termites: Does the Feeding Guild Matter? *PLoS ONE* 10(12): e0144340.
- Bremner J. M. (1996). Nitrogen-total. *In: Methods of soil analysis : Chemical methods part 3. Sparks D.L. (Ed.), Soil Science Society of America Inc., American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, USA : 1085 - 1122.*
- Bresson L. M., Koch C., Le Bissonnais Y., Barriuso E. & Lecomte V. (2001). Soil surface structure stabilization by municipal waste compost application. *Soil Science Society of America Journal*, 65 : 1804 - 1811.
- Breznak J. A. (2000). Ecology of prokaryotic Microbes in the guts of wood-and litter feeding Termites. *In: sociality, symbiosis, Abe T., D.E. and Bignell M. Higashi (Eds), Kluwer Academic Press, Dordrecht : 235 - 242.*
- Briat J. T : (2005). Le fer du sol aux produits végétaux. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, Paris (France) 189, (8) : 1609 - 1621.
- Brune A. (2011). Microbial Symbioses in the Digestive Tract of Lower Termites. *In : Beneficial Microorganisms in Multicellular Life Forms, E. Rosenberg and U. Gophna, (eds.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg : 3 - 25.*
- Brou Y.T. (2005). Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire de synthèse des activités scientifiques. Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Technologies de Lille, France, 212 p.
- Brou Y. T. (2010). Variabilité climatique, déforestation et dynamique agro-démographique en Côte d'Ivoire, *Sécheresse*, 21 : 1 - 6.
- Cambardella C.A., Russell A. & Richard T .L. (2003). Compost mineralization in soil as a function of composting process conditions. *European Journal of Soil Biology*, 39: 117 - 127.

- Carpenter Boggs L., Kennedy A.C. & Reganold J.P. (2000). Organic and biodynamic management : Effects on soil biology. *Soil Science Society of America Journal*, 64 : 1651 - 1659.
- Cattan P., Letourmy P., Zagre B., Minougou A. & Compaoré E. (2001). Rendement de l'arachide et du sorgho en rotation sous différents itinéraires techniques au Burkina Faso. *Cahiers Agricultures*, 10 : 159 - 172.
- Cérighelli R. (1955). Cultures tropicales : Plantes vivrières. Tome I. Nouvelles encyclopédie agricole, Edition J-B. *Bailliere & Fils*, Paris, 454 p.
- Chamayou H. & Legros J. P. (1989). Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. Agence de Coopération culturelle et technique, Conseil International de la langue française. *Press universitaires de France*, 592 p.
- Chararas C., Lebrun D. & Strabasky M. (1984). Etudes des osidases de la panse rectale de *Kalotermes flavicollis*. *Compte Rendu Société de Biologie*, Paris, 178 : 136 - 141.
- Charonnat C. & Deblay S. (2005). Croissance et développement des plantes cultivées: dossier d'autoformation. *Educagri Edition*, 97p.
- Cheik S., Shanbhag R., Harit A., Bottinelli N., Sukumar R. & Jouquet P. (2019). Linking termite feeding preferences and soil physical functioning in Southern-Indian woodlands. *Insects*, 10 (1) : 4 p. <https://doi.org/10.3390/insects10010004>
- Chérif M., Audebert A., Fofana M. & Zouzou M. (2009). Evaluation of iron toxicity on lowland irrigated rice in West Africa. *Tropicultura*, 27 : 88 - 92.
- Chien S.H., Sale P.W.G. & Hammond L. L. (1990). Comparison of various phosphate fertilizer products. In: Proceedings of international symposium on phosphorus requirements for sustainable agriculture in Asia and Oceania, *Manila International Rice Research Institute* : 143 - 156.
- COMIFER Groupe P. K. (1995). Aide au diagnostic et à la prescription de la fertilisation phosphatée et potassique des grandes cultures. COMIFER ISBN 2-910393-02-X, 28 p.
- CNRA (2016). Répertoire des variétés améliorées des cultures vivrières édition 2016, 53 p.
- Cooperband L.R., Sone A.G., Fryda M.R. & Ravet J. L. (2003). Relating compost measures of stability and maturity to plant growth. *Compost Science and Utilization*, 11 (2) : 113 - 124.

- Coulibaly T. (2014). Diversité et dégâts des termites dans les vergers de manguiers (*Mangifera indica* L., 1753, Anacardiaceae) de la région de Korhogo (Côte d'Ivoire) et essai de lutte par utilisation d'extraits aqueux de trois plantes locales. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan (Côte d'Ivoire), 154 p.
- Coulibaly T., Boga J. P., Yapi A. & Kouassi K. P. (2013). Effects of Continuous Cultivation of soil on Termites (Isoptera) diversity and abundance in Savannas of Northern of Côte d'Ivoire. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 3(9) : 632 - 649.
- Dabbadie L. M. (1996). Étude de la viabilité d'une pisciculture rurale à faible niveau d'intrants dans le centre-ouest de la Côte d'Ivoire : approche du réseau trophique. Thèse de Doctorat, Université Paris 6 (France), 214 p.
- Dabin B. (1967). Sur une méthode d'analyse du phosphore dans les sols tropicaux. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Antananarive, Madagascar, 19-25 novembre, 1 : 99 - 115.
- Dabin D., Leneuf N. & Riou G. (1960). Carte pédologique de la Côte d'Ivoire. Services des sols de la Côte d'Ivoire. Ministère de l'agriculture et de la Coopération, 31p.
- Dangerfield J. M., McCarthy T. S. & Ellery W. N. (1998). The mound-building termite *Macrotermes michaelseni* as an ecosystem engineer. *Journal of Tropical Ecology*, 14 (4) : 507 - 520.
- Deligne J. (1971). Mécanique du comportement de combat chez les soldats de Termites (Insectes Isoptère). *Forma at Function*, 4 : 176 - 187.
- Deligne J., Quennedey A., Blum M. S. (1981). The enemies and defense mechanisms of termites. In: Herman H. R., *edition Social Insects, Vol. II*. New York : *Academic Press*, 1 - 76.
- Dembele Y. (2005). Cours de génie rural/hydraulique agricole. Cours tronc commun IDR 2^{ème} année, UPB, Bobo Dioulasso, Burkina Faso. 31 p.
- Die K. K. (2006). Renforcement de l'alimentation en eau potable de la ville de Daloa à partir du barrage de Buyo en Côte d'Ivoire. Mémoire de fin de formation de l'EIER-ETSHER, Ouagadougou, 77 p.

- Dinon E. et Gerstmans A. (2008). L'Influence du pH sur l'assimilation des éléments nutritifs du sol par les plantes et sur la variété des plantes, Université de Liège. *Printemps des Sciences*, 4 p. www2.ulg.ac.be/sciences/printemps/pedagogique/l151.pdf.
- Djébré L. S. M. (2008). Valorisation agronomique des incuits de chaux du traitement des eaux de consommation. Mémoire de DEA, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, 54p.
- Dobermann A. & Fairhurst T. (2000). Nutrients disorders and nutrients management. *International Plant Nutrition Institute*, 191 p.
- Doran J. W., Parkin T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. In: Doran JW, Coleman D. C., Bezdicek D. F., Stewart B. A. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Special Publication*, 35 : 3 - 21.
- Dosso K., Yéo K., Konaté S. & Linsenmair K. E. (2012). Importance of protected areas for biodiversity conservation in central Côte d'Ivoire : Comparison of termite assemblages between two neighbouring areas under differing levels of disturbance. *Journal of Insect Science*, 12 (131) : 1 - 18.
- Dosso K. & Koné F. (2016). Influence de l'activité des termites sur les propriétés du sol dans la région de Lamto (Côte d'Ivoire) : Mesure de la vitesse d'infiltration de l'eau et de la quantité de matière organique en conditions expérimentales. Impact des termites sur les propriétés du sol. *Journal of Applied Biosciences*, 105 : 10203 - 10214.
- Dosso K., Koné F., Kra K. D. & Konaté S. (2017). Décomposition des résidus végétaux par les termites et apport de matière organique au sol dans la région de Lamto Côte d'Ivoire). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 33 (3) : 5320 - 5331.
- Drouet T. (2010). Pédologie BING-F-302,137.
- Duboisset A. (2003). L'importance agricole des termitières épigées dans le nord du Cameroun : l'exemple des nids de *Macrotermes subhyalinus* et d'*Odontotermes magdalenae*. Thèse de Doctorat en Sciences et techniques de l'environnement, Université de Paris-Val-de-Marne, Paris (France), 479 p.
- Dutordoier C. D. (2006). Impact de pratiques de gestion de la fertilité sur les rendements en mil dans le Fakara (Niger). Mémoire de Bio-Ingénieur, Faculté d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale, Université Catholique de Louvain (Belgique), 214 p.

- Eftimladou A., Bilalis D., Karkanis A. & Froud-Williams B. (2010). Combined organic/inorganic fertilization enhance soil quality and increased yield, photosynthesis and sustainability of sweet maize crop. *Australian Journal of Crop Science*, 4 (9) : 722 - 729.
- Eggleton P. (2006). The termite gut habitat : Its evolution and co-evolution: *In: Intestinal microorganisms of soil invertebrates. König H & Varma A (eds), Springer-Verlag, Berlin : 370 - 403.*
- Eggleton P. & Tayasu I. (2001). Feeding group, life types and the global ecology of termites. *Ecological Research*, 16 : 941 - 960.
- El Hassani T.A. & Persoons E. (1994). Agronomie moderne : bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. Torino (Italie) : *Hatier-Aupelf-Uref*; 548 p. ISBN : 2-218-6815-X.
- Elalaoui A. C. (2007). Fertilisation Minérale des cultures. Programme National de Transfert de Technologie (PNTTA) N°155, Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II. <http://www.Vulgarisation.net>.
- Eponon C., Snoeck D., Konaté Z., Kassin K. E., Camara M., Légnaté H., Konan A., Cherif M. & Koné D. (2019). Characterization of soil fertility in Coffee (*Coffea spp*) production areas in Côte d'Ivoire. *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*, 7 (2) : 15 - 24.
- Eldin M. (1971). Le climat. *In Avenard J.M., Eldin M., Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf P., Guillaumet J.L., Adjanohoun E. & Perraud A. (eds). Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire, Mémoire ORSTOM, Paris (France) : 73 - 108.*
- Fabre B. & Kockmann F. (2006). Les effets du chaulage sur les prairies permanentes ou de longue durée. Synthèse bibliographique. *Fourrages*, 185 : 103 - 122.
- Fageria N. K., Santos N. A. B., Barbosa M. P., Quimanques C. M. (2008). Iron toxicity in lowland rice. *Journal of Plant Nutrition*, 31 (9) : 1676 - 1699.
- Farhan A., Hatem F., Shi-You L., Yin H. & Jian-Chu M. (2021). Termites and Chinese agricultural system : Applications and advances in integrated termite management and chemical control. *Insect Science*, 28 : 2 - 20.
- FAO (1988). Aménagement du sol : Production et usage du compost en milieu tropical et subtropical. Rome, 16 p.

- FAO (2002). Utilisation de la base de référence mondiale pour les ressources en sols comme instrument pour la sécurité alimentaire en Afrique. Rapport de la quatorzième réunion du sous-comité ouest et centre africain de corrélation des sols pour la mise en valeur des terres. 9-13 octobre 2000, Abomey, Bénin. 224 p.
- FAO (2005). Notions de nutrition des plantes et de fertilisation des sols. Manuel de formation, projet promotion de l'utilisation des intrants agricoles par les Organisations de producteurs du Niger, Rome, FAO.
- FAO (2011). Evaluation of FAO's Role and Work in Nutrition. Final Report. PC 108/6. Rome.
- Feller C., Balesdent J., Nicolardot B. & Cerri C.C. (2000). Approaching "functional" soil organic matter pools through particle-size fractionation. Examples for tropical soils. In: *Assessment methods for soil carbon* (eds R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett & B.A. Stewart), *Lewis Publisher, Boca Raton* : 53 - 67.
- Feller C., Lavelle P., Albrecht A. & Nicolardot B. (1993). La jachère et le fonctionnement des sols tropicaux. In Floret C., Serpantié (eds.) *Rôle de l'activité biologique et des matières organiques. Quelques éléments de réflexion* : 15 - 32.
- Fernandes P., Silvie P., Amadji G., Belmin R., Bocar Bal A., Brévault T., Chailleux A., Clouvel P., Dannon E., Diallo M.D., Diarra K., Diatta P., Djigal D., Faye E., Feder F., Legros S., Lopez Llandres A., Médoc JM., Mensah A., Niang Y., Parrot L., Simon S., Soti V., Téréta I., De Bon H, Maiga D., Sanon A., Koné D., Akantetou P. & Babin R. (2019). Conception de systèmes de cultures agro-écologiques par la gestion agroécologique des bioagresseurs et l'utilisation de résidus organiques (Divecosys) - projet scientifique actualisé et élargi aux nouveaux membres 2019-2024, 30 p.
- FIRCA (2011). La filière riz. A la découverte du programme de productivité agricole en Afrique de l'ouest (PPAO/WAAPP). Bulletin d'Information du Fonds Interprofessionnel pour la recherche et le Conseil Agricoles : La filière du progrès. Acte 7. 42 p.
- Foley B. J. & Cooperband L. R. (2002). Paper mill residuals and compost effects on soil carbon and physical properties. *Journal of Environmental Quality*, 31: 2086 - 2095.
- Freymann B. P., Buitenwerf R., Desouza O. & Olf H. (2008). The importance of termites (Isoptera) for the recycling of herbivore dung in tropical ecosystem. *European Journal of Entomology*, 105 : 165 - 173.

- Freymann B. P., de Visser S. N. & Olf H. (2010). Spatial and temporal hotspots of termite driven decomposition in the Serengeti, *Ecography*, 33 : 443 - 450.
- Gala J. T. B., Camara M., Assa A. & Keli J. Z. (2007). Problématique de l'utilisation des engrais minéraux dans les zones de production du riz : cas du Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 19 (2) : 173 - 185.
- Garcia-Gil J. C., Plaza C., Soler-Rovira P. & Polo A. (2000). Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biology & Biochemistry*, 32 : 1907 - 1913.
- Garnier-Sillam E., Braudeau E. & Tessier D. (1991). Rôle des termites sur le spectre poral des sols forestiers tropicaux. Cas des *Thoracotermes macrothorax* Sjöstedt (Termitinae) et de *Macrotermes mülleri* (Macrotermitinae). *Pédologie*, 38 : 391 - 412.
- Gee G. W. & Bauder J. W. (1986). Particle-size analysis. In : *Methods of soil analysis. Part 1 : Physical and mineralogical methods* (ed. A. Klute). American society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin : 383 - 411.
- Genot V., Colinet G., Brahy V. & Bock L. (2009). L'état de fertilité des terres agricoles et forestières en région wallonne (adapté du chapitre 4 - sol 1 de « L'État de l'Environnement wallon 2006-2007 »). *Biotechnologie Agronomie Société et Environnement*, 13 (1) : 121 - 138.
- Gobat J. M., Aragno M. & Matthey W. (2003). Le sol vivant : Bases de pédologie, Biologie des sols. *Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (Ed)*, 528 p.
- Govorushko S. (2019). Economic and ecological importance of termites : A global review. *Entomological Science*, 22 : 21 - 35.
- Gnahoua G. M. (2004). Contribution des légumineuses à la régénération des jachères : Intérêts et limites des arbres fixateurs d'azote en zone forestière de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat d'Ingénieur, option : Agronomie, UFR STRM, Université Nationale de Côte d'Ivoire, Abidjan (Côte d'Ivoire), 143 p.
- Grassé P. P. (1950). Termites et sols tropicaux. *Revue Internationale de Botanique Appliquée et Agriculture Tropicale*, (337-338) : 549 - 554.
- Grassé P. P. (1982). Termitologia. Tome II. Anatomie, Physiologie, Reproduction des termites. *Fondation Singer-Polignac, Masson, Paris*, 676 p.

- Grassé P. P. (1984). Termitologia. Tome II. Fondation des sociétés, construction. *Masson, Paris*, 613 p.
- Grassé P. P. (1986). Termitologia. Tome III : Comportement, socialité, écologie, évolution, Systématique. *Fondation Singer-Polignac, Masson, Paris*, 715 p.
- Grassé P. P & Noirot C. (1958). La meule des termites champignonnistes et sa signification symbiotique. *Annales des Sciences, Zoologie Biologie Animale*, 11 (20) : 113 - 129.
- Gray C.L. (2005). What kind of intensification ? Agricultural practice, soil fertility and socioeconomic differentiation in rural Burkina Faso. *The Geographical Journal*, 171 : 70 - 82.
- Guedegbe H., Houngnandan P., Roman J. & Rouland-Lefevre C. (2008). Patterns of substrate degradation by some microfungi from fungusgrowing termites combs (Isoptera: Termitidae: Macrotermitinae). *Sociobiology*, 52 (3) : 51 - 65.
- Guei M. A., Zro Bi. G. F, Bakayoko S. & Ta Bi. D. F. (2020). Effets du vermicompost à base d'ordures ménagères associées aux balles de riz sur les paramètres agronomiques du maïs (*Zea mays* L.). *Journal of Applied Biosciences*, 154 : 15862 - 15870
- Guillaumet J. L. & Adjanooun E. (1971). La végétation de la Côte-d'Ivoire. In : *Le milieu naturel de la Côte-d'Ivoire. Mémoire ORSTOM*, 50 : 157 - 263.
- Hari P. K., Dat V.T. & Trinh T.T. (1997). Système amélioré de riziculture pluviale. Département d'agriculture de la FAO. 12 p.
- Harmand J. M. & Balle P. (2001). La jachère agroforestière (arborée et arbustive) en Afrique tropicale. In : *La jachère en Afrique tropicale : De la jachère naturelle à la jachère améliorée. Le point des connaissances, Paris, France, John Libbey*, 2 : 265 - 292.
- Hausberger B. & Korb J. (2016). The impact of anthropogenic disturbance on assembly patterns of termite communities. *Biotropica*, 48 (3) : 356 - 364.
- 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 en Sciences des Sols, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, France, 138 p.
- Hoitink H. A. J. (2000). Trends in treatment and utilization of solid wastes through composting in the United States. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 38 : 331 - 343.

- Houndjinou M. E. (2007). Nutrition minérale en riziculture pluviale : le rôle limitant des éléments majeurs pour le riz NERICA. Mémoire de DIT, Université d'Abomey-Calavy, Bénin. 59 p.
- Hubert G. & Schaub C. (2011). La fertilisants des sols. L'importance de la matière organique. Chambre d'agriculture, bas-rhin. *Service Environnement-Innovation*, 46p.
- Ibrahim A., Abaidoo C. R., Iliasso T. K. D. A., Fatondji D. (2018). Nutrient release dynamics from decomposing organic materials and their mulching-effect on pearl millet yields in a low-input Sahelian cropping system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 112 : 45 - 59.
- Jacquot M. & Courtois B. (1983). Le riz pluvial. Le technicien d'agriculture tropicale. Editions *Maisonneuve et Larose et A.C.C.T.* Paris, 134 p.
- Jacquot M. & Arnaud M. (1979). Classification numérique de variétés de riz. *Agronomie Tropicale*, 34 : 157 - 173.
- Jama B., Palm C. A., Buresh R. J., Niang A. I., Gachengo C. & Nziguheba G. (2000). *Tithonia* as a green manure for soil fertility improvement in Western Kenya. *Agroforestry Systems*, 49 : 201 - 221.
- Jones D. T., Susilo F. X., Bignell D. E., Hardiwinoto S., Gillison A. N. & Eggleton P. (2003). Termite assemblage collapse along a land-use intensification gradient in lowland central Sumatra, Indonesia. *Journal of Applied Ecology*, 40 (2) : 380 - 391.
- Josens G. (1972). Etudes biologique et écologique des termites (Isoptera) de la savane de Lamto-Pakobo (Côte-d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'Etat, Université libre de Bruxelles (Belgique), 262 p.
- Josens G. (1974). Les termites de la savane de Lamto. In : Analyse d'un écosystème tropical humide. *Bulletin de Liaison des Chercheurs de Lamto*, (5) : 91 - 131.
- Josens G. (1977). Recherches sur la structure et le fonctionnement des nids hypogés de quatre espèces de Macrotermitinae (Termitidae) communes dans les savanes de Lamto (Côte d'Ivoire). Mémoires de la Classe des Sciences de l'Académie royale des Sciences de Belgique, 42 : 1 - 123.
- Jouquet P., Mamou L., Lepage M. & Velde B. (2002)a. Effect of termites on clay minerals in tropical soils ; fungus-growing termites as weathering agents. *European Journal of Soil Science*, 53 (4) : 521 - 527.

- Jouquet P., Lepage M. & Velde B. (2002)b. Termite soil preferences and particle selections : strategies related to ecological requirements. *Insectes Sociaux*, 49 : 1 - 7.
- Jouquet P., Bottinelli N., Jean-Christophe L., Philippe M. & Sandrine C. (2007). Role of the fungus-growing termite *Pseudacanthotermes spiniger* (Isoptera, Macrotermitinae) in the dynamic of clay and soil organic matter content. An experimental analysis. *Geoderma*, 139 (1-2) : 127 - 133.
- 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 : 215 - 222.
- Kallenbach C. & Grandy. (2011). Controls over soil microbial biomass responses to carbon amendments in agricultural systems: a meta-analysis. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 144 : 241 - 252.
- Kalms J.M. & Kesse A. (1977). Opération connaissance du climat. Rapport Analytique 1977. Ministère ivoirien de la recherche scientifique, Institut des Savanes, Bouaké (Côte d'Ivoire), 42 p.
- Kang B. T. (1978). Effect of some biological factors on soil variability in the tropics. Effect of *Macrotermes* mounds. *Plant and Soil*, 50 : 241 - 251.
- Kaschuk G., Santos J. C. P. & Almeida J. A. (2006). Termite activity in relation to natural grassland soil attributes. *Science Agriculture*, 63 (6) : 583 - 588.
- Kassin K. & Yoro G. (2009). Rapport d'activités du programme gestion durable des sols et maîtrise de l'eau (GDSME). Station de Recherche du CNRA Gagnoa, 17 p.
- Kemmitt S. J., Wright D., Goulding K. W. T. & Jones D. L. (2006). pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in wo agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 38 : 898 - 911.
- Khaleel R., Reddy K.R. & Overcash M.R. (1981). Changes in soil physical properties due to organic waste applications : a review. *Journal of Environmental Quality*, 10 : 133 - 141.
- Kifukiéto C. (2014). Inventaire préliminaire des termites(Isoptera) des plateaux des Batékés en République Démocratique du Congo. *Faunistic Entomolgy*, 67 : 49 - 57.
- Kirk G. J. D. (2004). The Biogeochemistry of Submerged Soils. *John Wiley & Sons: Chichester, United Kingdom*; 291p.

- Koffie-Bikpo C. Y. & Kra K. S. (2013). La région du Haut-Sassandra dans la distribution des produits vivriers agricoles en Côte d'Ivoire. *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 2 : 95 - 103.
- Konaté K. A. (2012). Criblage de variétés du riz africain *Oryza glaberrima* pour la résistance à la toxicité ferreuse sur le périmètre rizicole de la Vallée du Kou. Mémoire de fin d'étude. Master en protection et amélioration des plantes, Université de Ouagadougou (Burkina Faso). 60 p.
- Konaté S. (1998). Structure, dynamique et rôle des buttes termitiques dans le fonctionnement d'une savane préforestière (Lamto, Côte d'Ivoire). Le termite champignoniste *Odontotermes* comme ingénieur de l'écosystème. Thèse de Doctorat, Université Paris VI (France), 252 p.
- Konaté Z. (2014). Etude des arrières effets du soja (*Glycine max.*) et du niébé (*Vigna unguiculata*) sur quelques propriétés physico-chimiques des sols et sur la productivité du riz pluvial de plateau : Cas de Gagnoa au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny Abidjan (Côte d'Ivoire), 194 p.
- Konaté S., Le Roux X., Verdier D. & Lepage M. (2003). Effect of underground fungus growing termites on carbon dioxide emission at the point and landscape scales in an African savanna. *Functional Ecology*, 17 : 305 - 314.
- Konaté S., Yéo K., Yeboue L., Alonso L. F. & Kouassi K. (2005). Evaluation rapide de la diversité des insectes des forêts classées de la Haute Dodo et du Cavally (Côte d'Ivoire). *RAP Bulletin of Biological Assessment*, C I. Washington DC, 27 p.
- Kormawa P., Keya S. & Touré A. A. (2004). Rice research and production in Africa. *Rice outlook 2004*, Marseille (France), 139 p.
- Kouadio K. P. (2012). Effet des produits coquillers sur le sol et le riz pluvial: Amélioration des propriétés physico-chimiques du sol et des paramètres agronomiques du riz pluvial, Editions Universitaires Européennes (EUE), ISBN 978-613-1-55981-5, 100 p.
- Kouakou A. T. M., Barima Y. S. S., Kouakou K. A., Kouamé N. F., Bogaert J. & Kouadio Y. J. (2015). Forest dynamics in the North of the classified forest of Haut-Sassandra during the period of armed conflicts in Ivory Coast. *American Journal of Life Sciences*, 3 (5) : 375 - 382.

- Kouakou K.A., Barima Y.S.S., Zanh G.G., Traoré K. & Bogaert J. (2017). Inventaire et disponibilité des produits forestiers non-ligneux utilisés par les populations riveraines de la Forêt Classée du Haut-Sassandra après la période de conflits armés en Côte d'Ivoire. *Tropicultura*, 35 (2) : 121 - 136.
- Kouassi K. P. (1987). Étude comparative de la macrofaune endogée d'écosystèmes naturels et transformés de Côte-d'Ivoire. Thèse 3^{ème} cycle, Université Abidjan (Côte d'Ivoire), 129 p.
- Kouassi K. P. (1999). Structure et dynamique des groupes trophiques de la macrofaune du sol d'écosystèmes naturels et transformés de Côte d'Ivoire. Thèse d'État ès Sciences, Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), 201 p.
- Kpangba K. M. P. T, Mpika J., Makoundou A., Bita A. M. & Attibayéba (2020). Effet de la terre des termitières sur la croissance de trois cultivars de la morelle noire (*Solanum nigrum* L. : Solanaceae) cultivée à Brazzaville (Congo). *International Journal of Biological and Chimical Sciences*, 14 (1) : 192 - 203.
- Krishna K., Grimaldi D. A., Krishna V. & Engel M. S. (2013). Treatise on the isoptera of the world. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 377 : 2704 p.
- Kwabiah A., Palm C., Stoskopf N. & Voroney R. (2003). Response of soil microbial biomass dynamics to quality of plant materials with emphasis on P availability. *Soil Biology and Biochemistry*, 35 : 207 - 216.
- La France D., Leblanc M., Gilbert P. A., Moreau G., Lefebvre M., Weill A., Duval J., Painchaud J. & Houle Y. (2012). Mise au point et validation d'un système de travail minimum du sol avec planches permanentes en culture maraîchère biologique. *Editor ededs Book*, 17p.
- Lacharme M. (2001). La fertilisation minérale du riz. Mémento Technique de Riziculture. Ministère de la Coopération Française. Paris, 17 p.
- Lachaud M. (2002). Les nids de *Macrotermes subhyalinus* Rambur (Isoptera) : des îlots de fertilité garantissant une production minimale en céréale (Piémont Fali, Nord-Cameroun) Thèse / th 0215008- partie 2 : 163 p.
- Lafon J.P., Prayer C.T. & Levy G. (1985). Biologie des plantes cultivées. Tome I. Organisation de la physiologie de la nutrition, Edition de l'A.R.P.E.P.S Anger : 166 - 180.

- Landon J.R. (1991). Booker tropical soil manual. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. Oxon, UK: Booker Tate Limited; Harlow, Essex, UK: Longman.
- Lavelle P., Bignell D., Lepage M., Wolters V., Roger P., Ineson P., Heal O. W. & Dhillion S. (1997). Soil function in a changing world : the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology*, 33 : 159 - 193.
- Lavelle P. & Spain A. V. (2001). Soil Ecology. *Kluwer Academic, Dordrecht, The Neherlands*, 654 p.
- Lepage M. & Duponnois R. (2006). De la poudre de termitières pour les jardins. *Cahiers Agricultures*, 15 (5) : 432 - 443.
- Lepengue A. N., Ebang E. G., Ikabanga U. D., Mouaragadja I., Bourobou H., Séverin Ake S. & M'Batchi B. (2012). Influence de *Capsicum frutescens* L. (Solanaceae) sur la germination et la croissance de l'épinard (*Spicia oleracea*, Chenopodiaceae) au Gabon. *Int. Journal of Biological Chemistry Sciences*, 6 (1) : 298 - 306.
- Li Y., Dong Z. Y., Pan D. Z., Pan C. H. & Chen L.H. (2017). Effects of termites on soil pH and its application for termite control in Zhejiang Province, China. *Sociobiology*, 64 : 317 - 326.
- Lin Y., Fang D. & Wang L. (2015). Termites and microbial biological control strategies Muhammad Qasim. *South Asia Journal of Multidisciplinary Studies*, 1 : 33 - 62.
- Linne Carl von (1753). Species Plantarum, <http://www.Facsimil in Botanicus.org/> consulté le 14/07/2014.
- Liu J., Uhde-Stone C., Li A., Vance C. & Allan D. (2001). A phosphate transporter with enhanced expression in proteoid roots of white lupin (*Lupinus albus* L.). *Plant and Soil*, 237 : 257 - 266.
- Lompo F. (2009). Effets induits des modes de gestion de la fertilité sur les états du phosphore et la solubilisation des phosphates naturels dans deux sols acides du Burkina Faso. Thèse de Doctorat d'Etat, mention Sciences de la Terre et des Ressources Minières Sciences naturelles, option Agro-pédologie, Université de Cocody (Côte d'Ivoire), 251 p.
- Matsuo T., Kumazawa K., Ishii R., Ishihara K. & Hirata H. (1995). Science of the rice plant. Physiology, vol. II. *Food and Agriculture Policy Research Center* 971 - 982.

- Mayer J. & Bonnefond R. (1973). Les rizicultures paysannes : améliorations possibles. Secrétariat d'Etat aux affaires étrangères, Paris, France, 216 p.
- Merelle F. (1998). L'analyse de terre aujourd'hui. Nantes, France : Édition GEMAS. L'analyse de terre aujourd'hui. GEMAS. Nantes. 184 p.
- MINAGRI-PNR. (2010). Annuaire des statistiques agricoles. Direction des statistiques, de la documentation et de l'informatique, Abidjan, 73 p.
- Mokossesse J. A., Josens G. & Lepage M. (2009). Croissance en pots de quatre espèces végétales sur des substrats enrichis avec la terre de termitières de *Cubitermes*. *Tropicultura*, 27 (3) : 168 - 173.
- Mokossesse A. J., Josens G., Mboukoulida J. & Ledent F. J. (2012). Effect of field application of *Cubitermes* (Isoptera termitidae) mound soil on growth and yield of maize in Central Africa Republic, *Agronomie Africaine*, 24 (3) : 241 - 252.
- Monnier Y. (1983). Carte de la végétation de la Côte d'Ivoire. In : Vennetier P. Laclavere G. (eds.). Atlas de la Côte d'Ivoire. 2^e éd., Jeune Afrique, Paris, France, 72 p.
- Mora P., Miambi E., Jimenez J. J., Deaëns T. & Rouland C. (2005). Functional complement of biogenic structures produced by earthworms, termites and ants in the neotropical savannas. *Soil Biology & Biochemistry*, 37 : 1043 - 1048.
- Mrhari A. H. (1997). Diagnostic de la fertilité des sols plantés en canne à sucre dans le périmètre du Gharb. Mémoire de DESA, Université ibn Tofail, Faculté des sciences, Kenitra, Maroc, 60p.
- Mugerwa S. (2015). Magnitude of the termite problem and its potential anthropogenic causes in Nakasongola district of Uganda. *Grassland Science*, 61 : 75 - 82.
- Mulaji K. (2011). Utilisation des composts de biodéchets ménagers pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo). Thèse Université de Liège, Belgique, 191 p.
- Murphy J. & Riley J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27 : 31 - 36.
- Muvengwi J., Mbiba M., Ndagurwa H. G., Nyamadzawo G. & Nhokovedzo P. (2017). Termite diversity along a land use intensification gradient in a semi-arid savanna. *Journal of Insect Conservation*, 21 (5-6) : 801 - 812.

- Myles T. G. (2004). Order Isoptera (Termites). *In*: Hutchins M. (ed.) Grismek's Animal Life Encyclopedia. Second Edition. *Insects*, 3 : 161 - 175.
- Ndabalishye I. (1995). Agriculture vivrière ouest-africaine à travers le cas de la Côte d'Ivoire. Bouaké (Côte d'Ivoire) : IDESSA; 383 p.
- Ndiaye D., Duponnois R., Brauman A. & Lepage M. (2003). Impact of a soil-feeding termite, *Cubitermes niokoloensis* on the symbiotic microflora associated with a fallow leguminous plant *Crotalaria ochroleuca*, *Biology and Fertility of Soil*, 37 : 313 - 318.
- N'Dayegamiye A. & Côté D. (1996). Effet d'application à long terme de fumier de bovins, de lisier de porc et de l'engrais minéral sur la teneur en matière organique et la structure du sol. *Agrosol* 9 (1) : 31 - 35.
- N'Goran A. (1995). Intégration des légumineuses dans la culture de maïs comme moyen de maintien de la fertilité des sols et de lutte contre l'enherbement. Rapport de la deuxième réunion du Comité de Recherche du WECAMAN, USAID, IITA, : 163 - 171.
- N'Goran A., Gnahoua G. M., Oualou K. & Pity B. (1997). Evolution de la fertilité d'un sol au cours de quatre ans de culture suite à une jachère arborée de six ans. Cas d'une zone de forêt humide en Côte d'Ivoire. *In* : *Amélioration et gestion de la jachère en Afrique de l'Ouest*. ORSTOM, Paris (France) : 101 - 106.
- Niaba K. P. V., Gbogouri G. A., Beugré A. G., Ocho-Anin A. A. L. & Gnakri D. (2011). Potentialités nutritionnelles du reproducteur ailé du termite *Macrotermes subhyalinus* capturé à Abobo-doumé, Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 40 : 2706 - 2714.
- Noirot C. H. & Alliot H. (1947). La lutte contre les termites. Ed. Masson & Cie., 120, Boulevard Saint-Germain, 98 p.
- Noirot C. H. & Noirot T. (1965). La glande sternale dans l'évolution des termites. *Insectes Sociaux*, 12 (3) : 265 - 272.
- Olugbemi B. O. (2013). Termite assemblages and decomposition of tissue paper baits along a gradient of land use intensification in Owena, southwest Nigeria. *Applied Ecology and Environment Research*, 11 (2) : 223 - 235.

- Ouédraogo E., Mando A. & Zombré N. P. (2001). Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 84 : 259 - 266.
- Ouédraogo M, Ouédraogo J. T., Tignéré J. B., Balma D., Dabiré B. C. & Konaté G. (2008)a. Characterization and evaluation of accessions of bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) from Burkina Faso. *Sciences & Nature*, 5 (2) : 191 - 97.
- Ouédraogo A., Yombi L., Doumbia S., Eyhorn F. & Dischl R. (2008)b. Guide de production du coton biologique et équitable (manuel de référence pour l'Afrique de l'Ouest). *Helvetas* 49 p.
- Pallo F. J. P, Sawadogo N., Sawadogo L., Sedogo P. M. (2008). Statut de la matière organique des sols dans la zone sud-soudanienne au Burkina Faso. *Biotechnology Agronomy Society and Environment*, 12 (3) : 291 - 301.
- Pamo E. T., Boukila B., Tonfack L. B., Momo M. C. S., Kana J. R. & Tendonkeng F. (2005). Influence de la fumure organique, du NPK et du mélange des deux fertilisants sur la croissance de *Moringa oleifera* LAM dans l'Ouest Cameroun. *Livestock Research for Rural Development News*, 17 (3) : 53 - 62.
- Paul B., Khan M. A., Paul S., Shankarganesh K. & Chakravorty S. (2018). Termites and Indian agriculture. Termites and Sustainable Management (eds. Cham, Md. Aslam, Khan Wasim Ahmad), *Springer, Saudi Arabia*, 51 - 96.
- Peltier O. (2001). Raisonnement de l'apport d'amendements minéraux basiques sur les prairies permanentes et temporaires de longue durée : influence sur la production et la qualité du fourrage. Les nouveaux défis de la fertilisation raisonnée, *Gemas-Comifer* : 231 - 236.
- Perner H., Schwarz D. & George E. (2006). Effect of mycorrhizal inoculation and compost supply on growth and nutrient uptake of young leek plants growth on peat-based substrates. *Horticultural Science*, 41 : 628 - 632.
- Person C., Nordfelth R., Holmström A., Håkansson S., Rosqvist R. & Wolf-Watz H. (1995). Cell-surface-bound *Yersinia* translocate the protein tyrosine phosphatase YopH by a polarized mechanism into the target cell. *Molecular Microbiology*, 18 : 135 - 150.

- Pieri C. (1989). Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Ministère de la coopération-CIRAD. ; Paris, 444p.
- Poisson C. & Doumbia S. (1987). Variétés nouvelles de riz. Conseils pratiques pour une riziculture moderne. NEA. Abidjan, Côte d'Ivoire. 63 p.
- Pomeroy D. (2005). Dispersion and activity patterns of three populations of large termite mounds in Kenya. *Journal of East African Natural History*, 94 (2) : 319 - 341.
- Qasim M., Lin Y., Fang D. & Wang L. (2015). Termites and microbial biological control strategies. *South Asia Journal of Multidisciplinary Studies*, 1 : 33 - 62.
- Rajeev V. & Sanjeev A (2011). Impact of termite activity and its effect on soil composition. *Tanzania Journal of Natural and Applied Science*, 2 : 399 - 404.
- Randrianarisoa J. C. & Minten B. (2003). Accessibilité et utilisation des engrais chimiques à Madagascar, Conférence « Agriculture et pauvreté ». FOFIFACORNELL-CNRADR-programme ILO, Antananarivo, 6 p.
- Rathour K. S., Sudershan G., Das T., Pargat S., Anjani K. & Somvanshi V. S. (2014). Biological management of subterranean termites (*Odontotermes obesus*) infesting wheat and pearl millet crops by entomopathogenic nematodes. *Indian Journal of Nematology*, 44 : 97 - 100.
- Ravan S., Khan I.A., Manzoor F. & Khan Z. (2015). Feeding habitats and wood preferences of termites in Iran. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 3 : 20 - 23.
- RGPH (2021). Recensement Général de la Population et de l'Habitat. Rapport de présentation des résultats globaux, 37 p.
- RNA (2001). Recensement National de l'Agriculture de la République de Côte d'Ivoire, Ministère d'Etat, Ministère de l'Agriculture. CD-ROM.
- Roisin Y. & Leponce M. (2004). Characterizing termite assemblages in fragmented forests: A test case in the Argentinian Chaco. *Austral Ecology*, 29 : 637 - 646.
- Roose-Amsaleg C., Brygoo Y. & Harry M. (2004). Ascomycete diversity in soil-feeding termite nests and soils from a tropical rainforest. *Environmental Microbiology*, 6 (5) : 462 - 469.

- Roose E., Albergel J., De Noni G., Sabir M. & Laouina A. (2008). Efficacité de la GCES en milieu semi-aride, AUF, EAC et IRD Editeurs, Paris. 425p.
- Rouland-Lefevre C. (2000). Symbiosis with fungi. *In: Termites: Evolution, Sociality, Symbiosis, Ecology, In: sociality, symbiosis*, Abe T., D.E. and Bignell M. Higashi (Eds), *Kluwer Academic Press, Dordrecht*, 289 - 306.
- Rouland-Lefevre C. & Bignell D. (2001). Cultivation of symbiotic fungi by termites of the subfamily Macrotermitinae. *In: Symbiosis: Mechanisms and model systems*. Seckbach J (ed), *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht*, 731 - 756.
- Roy-Noel J. (1966). Mise au point systématique sur les Coptotermes (Isoptera) du Sénégal. *Bulletin de l'IFAN Serie A*, 1 : 145 - 155.
- Rust M. K. & Su N. Y. (2012). Managing social insects of urban importance. *Annual Review of Entomology*, 57 : 355 - 375.
- Sanchez P.A., Shepherd K. D., Soule M. J., Place F. M., Buresh R. J. & Izac A. M. N. (1997). Soil fertility replenishment in Africa: an investment in natural resource capital. *In: Replenishing soil fertility in Africa. Soil Science Society of America Special Publication*, 51 : 1 - 46.
- Sands W. A. (1959). A revision of the termite of genus *Amitermes* from the Ethiopian region (Isoptera, Termitidae, Amitermitinae). *Bulletin of the British Museum Natural History*, 8 (4) : 129 - 156.
- Sands W. A. (1972). The soldierless termites of Africa (Isoptera: Termitidae). *Bulletin of the British Museum (Natural History), (Entomology), Supplement*, 18 : 244 p.
- Sane C. A. B. (2016). 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 Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), 174 p.
- Sangaré Y. & Bodot P. (1980). Données préliminaires sur la faune des termites en forêt tropicale humide (Région de Taï, sud-ouest de la Côte d'Ivoire) Inventaire, classification éthologique et biologique des genres et espèces répertoriés. *Annales de l'Université d'Abidjan, Série E*, 13 : 123 - 141.

- Sanogo S., Camara M., Zouzou M., Kéli Z. J., Messoum F. G. & Sékou A. (2010). Effets de la fertilisation minérale sur des variétés améliorées de riz en condition irriguée à Gagnoa, Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 35 : 2235 - 2243.
- Saragoni H., Poss R., Marquette J. & Latrille E. (1992). Fertilisation et succession des cultures vivrières au sud du Togo : Synthèse d'une expérimentation de longue durée sur terres de barre. *Agronomie Tropicale*, 46 : 107 - 120.
- Schlecht E. & Buerkert A. (2004). Organic inputs on millet fields in western Niger: the implications of farmers' practices for sustainable agricultural production. *Geoderma*, 121 : 271 - 289.
- Schlecht E., Buerkert A., Tielkes E. & Bationo A. (2006). A critical analysis of challenges and opportunities for soil fertility restoration in Sudano-Sahelian West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 76 : 109 - 136.
- Schyra J. & Korb J. (2017). Termite Communities along a Disturbance Gradient in a West African Savanna. *Insects*, 10 (17) : 1 - 12.
- Scorraïlle G (1986). La fertilisation d'hier à aujourd'hui, connaissances et pratiques. Technologies agroalimentaires. *Culture Technique*, 16 : 78 - 84.
- Sebillotte M. (1993). L'agronome face à la notion de fertilité. *Natures - Sciences - Sociétés*, 1 (2) : 128 - 141
- Siame J. A. (2005). Termite mounds as fertilizer. *Low External Input and Sustainable Agriculture*, 21 (2) : 29 - 31.
- Sié M. (1991). Prospection et évaluation génétique des variétés traditionnelles de riz (*Oryza sativa* L. et *O. glaberrima* Steud) du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences et Techniques, Université Nationale de Côte d'Ivoire, Abidjan, 118p.
- Sileshi G.W., Arshad M. A., Konate S. & Nkunika P.O. (2010). Termite-induced heterogeneity in African savanna vegetation : mechanisms and patterns. *Journal of Vegetation Science*, 21 (5) : 923 - 937.
- Soltner D. (2003). Les bases de la production végétale. Tome I. Le sol et son amélioration. Poitiers (France) : Sciences et techniques Agricoles. 472 p.
- Somda B. B., Ouattara B., Serme I., Pouya M. B., Lompo F., Taonda S. J. B. & Sedogo P. M. (2017). Détermination des doses optimales de fumures organominérales en microdose

- dans la zone soudanosahélienne du Burkina Faso. *In : International Journal of Biological and Chimical Sciences*, 11 (2) : 67- 683.
- Some D., Hien E., Assigbetse K., Drevon J. J. & Masse D. (2015). Dynamique des compartiments du carbone et de l'azote dans le sol cultivé du niébé et sorgho dans le système zaï en zone Nord soudanienne du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chimical Sciences*, 9 (2) : 954 - 969.
- Soro D., Ayolié K., Zro Bi F. G., Yeboua F. Y., Kouadio K. K. H., Bakayoko S., Angui T. P. & Kouadio Y. J. (2015). Impact of organic fertilization on maize (*Zea mays* L.) production in a ferralitic soil of Centre-West Côte d'Ivoire, *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 3 (6) : 556 - 565.
- Soro D., Boni K., Konaté Z., Abobi H. & Angui T. P. (2021). Agronomic Potential of the Artificial Termite Mound of Senoufo Poultry Farmers in Northern Côte d'Ivoire. *International Journal of Science and Research*, 10 (1) : 1004 - 1013.
- Stevenson J. F. (1994). *Humus Chemistry, genesis, composition, reactions*, 2nd edition, New York : John Wiley & son, 496 p.
- Subekti N., Yoshimura T., Rokhman F. & Mastur Z. (2015). Potential for subterranean termite attack against five bamboo species in correlation with chemical components. *Procedia Environmental Sciences*, 28 : 783 - 788.
- Subler S., Edwards C. A. & Metzger J. D. (1998). Composting vermicomposts and composts. *Biocycle*, 39 : 63 - 66.
- Tahiri A. Y. & Mangué J. J. (2007). Stratégies d'attaques de jeunes plants d'Hévéa (*Hevea brasiliensis* Muell.) par les termites et effet comparés de deux insecticides utilisés pour leur protection en basse Côte-d'Ivoire. *Sciences & Nature*, 4 (1) : 45 - 55.
- Tamaung M. (2006). Physiological mechanisms of iron toxicity tolerance in lowland rice. Thesis in partial fulfillment of the requirements for the academic degree of Master of Science. Faculty of Agriculture Rheinische Friedrich-Wilhelm's-Universität zu Bonn (Deutschland), 67p.
- Tanaka A. & Yoshida S. (1970). Nutritional disorders of the rice plant in Asia. *International Rice Research Institute, Technical Bulletin*, 10 : 1 - 51.

- Tano Y. (1993). Les termitières épigées d'un bassin versant en savane soudanienne. Répartition et dynamique des nids, rôle sur les sols et la végétation. Thèse de doctorat ès sciences naturelles, Université d'Abidjan (Côte d'Ivoire), 250 p.
- Tano Y., Yapi A. & Kouassi K. P. (2005). Diversité biologique et importance des termites (Isoptères) dans les écosystèmes de savane et de forêt de Côte d'Ivoire. *Bioterre*, 5 (1) : 44 - 64.
- Tiessen H., Cuevas E. & Chacon N. (1994). The role of organic matter in sustaining soil fertility. *Nature*, 371 : 783 - 785.
- Tra Bi C. S. (2013). Diversité spécifique et dégâts des termites dans les cacaoyères (*Theobroma cacao* L., 1759) de la région d'Oumé en Côte D'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny (Côte d'Ivoire), 243 p.
- Tra Bi C. S., Boga J. P., Akpessa A. A. M., 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 (4) : 519 - 530.
- Traoré S., Tigabu M., Jouquet P., Ouédraogo S. J., Guinko S. & Lepage M. (2015). Long-term effects of *Macrotermes* termites, herbivores and annual early fire on woody undergrowth community in Sudanian woodland, Burkina Faso. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 211 : 40 - 50.
- Troupa S. G. F. & Koné M. H. (2003). Recensement National de l'Agriculture et sécurité alimentaire. Rapport de consultant FAO, EU, Minagra. Abidjan, 40 p.
- Useni S., Baboy L., Nyembo K. & Mpundu M. (2012). Effets des apports combinés de biodéchets et de fertilisants inorganiques sur le rendement de trois variétés de *Zea mays* L. cultivées dans la région de Lubumbashi. *Journal of Applied Bioscience*, 54 : 3935 - 3943.
- Van Huis A. (2017). Cultural significance of termites in sub-Saharan Africa. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 13 : 1 - 12.
- Verma M., Sharma S. & Prasad R. (2009). Biological alternatives for termite control: a review. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 63 : 959 - 972.

- Walkley A. & Black I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 34 : 29 - 38.
- Wey J. & Traoré G. S. (1998). Quelques résultats de recherche sur les rizicultures pluviales en Guinée forestière. *Agriculture et Développement*, 19 : 73 - 78.
- Wilmot T. R., Ellsworth D. S., & Tyree M. T. (1996). Base cation fertilization and liming effects on nutrition and growth of Vermont sugar maple stands. *Forest Ecology and Management*, 84 : 123 - 134.
- Wood T. G. & Lee K. E. (1971). Abundance of mounds and competition among colonies of some Australian termite species. *Pedobiologia*, 11 : 341 - 366.
- Wopereis M. C. S., Defoer T., Idinoba P., Diack S. & Dugué M. J. (2008). Curriculum d'apprentissage participatif et recherche action (APRA) pour la gestion intégrée de la culture de riz de bas-fonds (GIR) en Afrique subsaharienne : Manuel technique. Cotonou, Bénin : le Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO), 128 p.
- Yamada A., Inoue A.T., Wiwatwitaya D., Ohkuma M., Kudo T., Abe T. & Sugimoto A. (2005). Carbon mineralization by termites in tropical forests, with emphasis on fungus combs. *Ecological Research*, 20 : 453 - 460.
- Yapi A. (1991). Biologie, Ecologie et métabolisme digestif de quelques espèces de termites humivores de savane. Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle, Université d'Abidjan (Côte d'Ivoire), 102 p.
- Yapi A. (2010). Facteurs biogéochimiques fins des sols et répartition des termites humivores: cas de *Cubitermes* à Dabou et à Toumodi, Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat d'État, Université Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 180 p.
- Yapi A., Kouassi K. P. & Lepage M. (2001). Répartition des termites humivores et leur influence sur le métabolisme des sols en savane guinéenne (Lamto et Toumodi, Côte d'Ivoire). *Bioterre*, 1: 101 - 110.
- Yao A. B., Goula B. T. A., Kouadio Z. A., Kouakou K. E., Kané A. & Sambou S. (2012). Analyse de la variabilité climatique et quantification des ressources en eau en zone tropicale humide : cas du bassin versant de la Lobo au centre-ouest de la Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, 19 : 136 - 157.

- Yao-Kouamé A. (2008). Etude des sols brunifiés dérivés des matériaux du complexe volcanosédimentaire de Toumodi en moyenne Côte D'Ivoire. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 210 p.
- Yemefack M., Nounamo L., Rosaline N. & Bilong P. (2004). Influence des pratiques agricoles sur la teneur en argile et autres propriétés agronomiques d'un sol ferrallitique au sud Cameroun. *Tropicultura*, 22 (1) : 3 - 10.
- Yoshida S., Forno D. A., Cock J. H. & Gomez K.A. (1976). Laboratory manual for physiological studies of rice. 3d ed. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. 83 p.
- Yoshida S. (1981). Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute (IRRI), Los banos - Laguna, Philippines, 269 p.
- Zanh G. G., Barima Y. S. S., Kouakou K. A. & Sangne Y. C. (2016). Usages des produits forestiers non-ligneux selon les communautés riveraines de la forêt classée du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Pure Applied Bioscience*, 4 (5) : 212 - 225.
- Zanh G. G., Koua K. A. N., Kouakou K. A. & Barima Y. S. S. (2018). Saturation foncière à la périphérie de la forêt classée du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire) durant la période de 1990 à 2016. *Tropicultura*, 36 (2) : 35 - 46.
- Zeinabou H., Mahamane S., Bismarck B. N., Bado B. V., Lompo L. & Bationo A. (2014). Effet de la combinaison des fumures organominérales et de la rotation niébé-mil sur la nutrition azotée et les rendements du mil au sahel. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8 (4) : 1620 - 1632.
- Zian G. A. (2002). Effet de différentes doses d'engrais phosphate sur la croissance de deux morphotypes de pois de terre (*Vigna subterranea* L.) (Fabaceae). Mémoire de Maîtrise en sciences agronomiques, UFR Sciences de la Nature, Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire, 36 p.
- Zingore S., Murwira H. K., Delve R. J. & Giller K. E. (2007). Soil type, management history and current resource allocation: Three dimensions regulating variability in crop productivity on African smallholder farms. *Field Crops Research*, 101 (3) : 296 - 305.
- Zingore S., Wairegi L. & Ndiaye K. M. (2014). Guide pour la gestion des systèmes de culture de riz. *Consortium Africain pour la Santé des Sols*, Nairobi, 60 p.

Zodomé G. (2012). Evaluation de la performance du riz *Oryza sativa* à différentes doses d'engrais chimiques et organiques sur sol sablonneux au centre du Bénin (Bénin). Rapport de fin de stage, Licence professionnelle, 42 p.

ANNEXES

Annexe 1 :

1.1 Teneurs critiques et seuils de toxicité des éléments minéraux dans la plante de riz

Eléments	Teneurs critiques	Toxicité
N	2,5% de poids sec	-
P	0,1% de poids sec	1%
K	1%	-
Ca	0,15%	-
Mg	0,10	-
Fe	70 ppm	300 ppm
Cu	< 6 ppm	30 ppm
Mn	20 ppm	> 2500 ppm
Zn	10 ppm	1500 ppm

Source : Tanaka & Yoshida (1970)

1.2 Niveaux critiques d'interprétation des valeurs des éléments chimiques

Eléments chimiques	Valeurs critiques d'interprétation			
	Très faible	faible	normale	élevée
N total (g.kg ⁻¹)	< 0,5	0,5 à 1	1 à 1,5	> 2,5
P ass (g.kg ⁻¹)	< 15	15 à 25	25 à 50	> 100
C total (g.kg ⁻¹)	< 0,5	0,5 à 1	1 à 1,5	> 2,5
K (cmol.kg ⁻¹)	< 0,1	0,1 à 0,15	0,15 à 0,40	> 15
Ca (cmol.kg ⁻¹)	< 1	1 à 2,5	2,5 à 3,5	> 7
Mg (cmol.kg ⁻¹)	< 0,5	0,5 à 1	1 à 1,5	> 3

Sources : Keita (2000) et Assa (2005)

1.3 Niveaux critiques d'interprétation des valeurs des équilibres minéraux

Equilibres minéraux	Valeurs critiques d'interprétation				
	Très faible	faible	optimale	élevée	Très élevée
C/N	< 9	-	9 à 12	12 à 25	> 25
Ntotal/P ₂ O ₅ total	-	< 2	2 à 4	> 4	-
Ca/Mg	< 1	01 à 1,5	1,5 à 5	5 à 10	-
Mg/K	-	< 3	3 à 4	> 4	-
Ca/K	< 4	4 à 6	6 à 12	> 12	-
K/(Ca+Mg)	-	< 2	2 à 2,5	> 2,5	-
K/CEC	-	< 2	2 à 3	> 3	-

Source : Boyer & Aubert (1982)

1.4 Niveaux critiques d'interprétation des valeurs des propriétés chimiques

Propriétés chimiques	Valeurs des propriétés chimiques et limitations correspondantes				
Capacité d'échange cationique (CEC) en cmol.kg^{-1}	< 2 très faible	2 à 3 faible	3 à 8 normale	8 à 15 élevé	> 15 très élevé
Somme des bases échangeables (S) en cmol.kg^{-1}	< 1,5 très faible	1,5 à 3 faible	3 à 6 moyenne	6 à 12 bonne	> 12 très bonne
Taux de saturation $S*100/CEC$ (%)	-	< 50 complexe désaturé	50 à 70 complexe moyennement saturé	> 70 complexe saturé	-
pHeau	< 5,0 très faible	5,0 à 5,5 faible	5,5 à 6 optimale	> 7 élevée	-

Sources : Keita (2000) et Assa (2005)

Annexe 2 : Pluviométrie et température en 2018 et 2019

Mois	2018			2019		
	Quantité de pluie en mm	Nombre de jours de pluie	T°C	Quantité de pluie en mm	Nombre de jours de pluie	T°C
janvier	0	0	28,6	25	3	27,9
février	50	5	29,6	50	4	27,5
mars	150	13	27,6	100	6	27,4
avril	125	10	27,6	125	13	27,2
mai	125	8	28,8	100	7	27,2
juin	160	15	26,4	175	13	26
juillet	75	10	25,3	175	13	25
août	100	13	25	220	20	24,7
septembre	175	20	24,7	180	13	25,8
octobre	120	14	28,8	150	15	25,8
novembre	50	5	27	80	5	26,9
décembre	25	2	26,8	20	2	27

Source : Anader Daloa (2019)

Annexe 3 : Efficacité des doses de "Termisol" selon le cycle

Traitements	Efficacité des doses de Termisol							
	ZéroF		NPK		TermNat		Fiente	
	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 1	Cycle 2
ZéroF	-	-	-04 ^b	-34 ^e	-24 ^c	-07 ^c	-02 ^b	-42 ^d
1%Termisol	37 ^{ab}	30 ^{bcd}	29 ^{ab}	-14 ^{de}	02 ^{abc}	21 ^{abc}	33 ^{ab}	-24 ^{cd}
2%Termisol	50 ^a	29 ^{cd}	38 ^{ab}	-15 ^{de}	14 ^{ac}	20 ^{abc}	46 ^a	-24 ^{cd}
3%Termisol	50 ^a	39 ^{bcd}	46 ^a	-09 ^{cde}	12 ^{ab}	29 ^{abc}	48 ^a	-19 ^{bcd}
4%Termisol	27 ^{ab}	86 ^{ab}	18 ^{ab}	18 ^{ab}	-05 ^{abc}	74 ^a	22 ^{ab}	02 ^{ab}
5%Termisol	24 ^{ab}	78 ^{abc}	16 ^{ab}	14 ^{abc}	-07 ^{abc}	66 ^{ab}	19 ^{ab}	00 ^{ab}
6%Termisol	28 ^{ab}	98 ^a	21 ^{ab}	27 ^a	-07 ^{abc}	85 ^a	27 ^{ab}	11 ^a
NPK	09 ^b	55 ^{abcd}	-	-	-18 ^{abc}	45 ^{abc}	04 ^{ab}	-11 ^{abc}
TermNat	35 ^{ab}	09 ^d	27 ^{ab}	-27 ^e	-	-	30 ^{ab}	-36 ^d
Fiente	04 ^b	78 ^{abc}	-02 ^b	15 ^{abc}	-0,22 ^{bc}	0,66 ^{ab}	-	-
CV	0,9459	0,8259	1,4793	-9,3617	-4,1426	1,1562	1,1787	-1,4127
Pvalue	0,1433	0,0144	0,3785	0,0008	0,3097	0,1475	0,2506	0,0015
Effet	ns	*	ns	***	ns	ns	ns	***

Les moyennes suivies de la même lettre le long des colonnes ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % pour le Test de Newman-Keuls; * différence significative $P < 0,05$; ** : différence hautement significative $P < 0,01$; ***différence très hautement significative $P < 0,001$; ns : Différence non significative $P > 0,05$. CV : Coefficient de variation ; ZéroF : témoin sans fertilisant ; TermNat : termitière naturelle

PUBLICATIONS

1. Yéo L., Soro D., Coulibaly T. & Zro Bi F. G. (2021). Caractérisation du produit résiduaire de termitières artificielles et identification des termites impliqués au Centre - Ouest de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine Sp.* 33 (2) : 279 - 293.

2. Soro D., Yeo L., Konate Z., Guei A. M. & Zro-Bi F. G. (2021). When Termites' Waste Products Highlight a Fundamental Law of Fertilization under Rainfed Rice Cultivation in West Cote d'Ivoire. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 3 (1) : 53- 60.

Publication 1

Yéo L., Soro D., Coulibaly T. & Zro Bi F. G. (2021). Caractérisation du produit résiduaire de termitières artificielles et identification des termites impliqués au Centre - Ouest de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine Sp.* 33 (2) : 279 - 293.

CARACTERISATION DU PRODUIT RESIDUAIRE DE TERMITIÈRES ARTIFICIELLES ET IDENTIFICATION DES TERMITES IMPLIQUEES AU CENTRE - OUEST DE LA COTE D'IVOIRE

L. YEO¹, D. SORO¹, T. COULIBALY³ ET G. F. ZROBI²

¹Laboratoire d'Agrovalorisation, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa

²Laboratoire d'Amélioration de la production Agricole, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa

³Université Péléforo Gon Coulibaly, Korhogo

tchebelass@yahoo.fr, dognysoro@gmail.com, zoumko@yahoo.fr, zoumko@yahoo.fr

RESUME

La présente étude a été menée dans la région de Daloa (Côte d'Ivoire) pour produire un produit résiduaire organique des termites et identifier les genres de termites impliqués dans cette production. Des pièges ont été constitués avec des résidus de maïs où une série de six observations, espacées de 3 jours ont été effectuées pour collecter les termites en activité, déterminer le poids des résidus dégradés et évaluer les quantités de produit résiduaire organique des termites produites à partir de l'activité des termites. Les résultats de l'étude montrent que la dégradation des résidus de maïs est en partie liée à l'abondance des termites sur le site de production et à la quantité de résidus soumise à la dégradation. Au total 5 genres de termites (G. Ancistrotermes, G. Macrotermes, G. Odontotermes, G. Pseudacanthotermes et G. Trinervitermes) appartenant essentiellement à 2 groupes trophiques les champignonnistes et les fourrageurs sont impliqués dans la production du produit résiduaire organique des termites. Les quantités de fertilisant produites sont difficiles à évaluer sur la base de la masse des résidus dégradés. Cependant, ces deux paramètres semblent positivement corrélés.

Mots clés : Termites, résidus de maïs, groupes trophiques, Fertilisant organique, remontée

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF THE RESIDUAL PRODUCT OF ARTIFICIAL TERMITE MOUNDS AND IDENTIFICATION OF TERMITES INVOLVED, CENTRAL - WEST CÔTE D'IVOIRE

The present study was carried out in the region of Daloa (Côte d'Ivoire) to produce a bio-organic fertilizer and to identify the genera of termites involved in this production. Traps were set up with corn residues where a series of six observations, spaced 3 days apart were made to collect active termites, determine the weight of degraded residues and assess the quantities of bio-organic fertilizer produced from termite activity. The results of the study show that the degradation of corn residue is partly related to the abundance of termites at the production site and the amount of residue subjected to degradation. In total 5 genera of termites (G. Ancistrotermes, G. Macrotermes, G. Odontotermes, G. Pseudacanthotermes and G. Trinervitermes) belonging mainly to 2 trophic groups the fungus and foragers are involved in the production of bio-organic fertilizer. The quantities of fertilizer produced are difficult to estimate on the basis of the mass of degraded residues. However, these two parameters seem to be positively correlated.

Key words: Termites, corn residues, trophic groups, Organic fertilizer, upwelling

INTRODUCTION

En Afrique de l'ouest, et particulièrement en Côte d'Ivoire, l'on assiste au raccourcissement de la durée des jachères et l'exploitation abusive des portions de terres cultivables (Boli *et al.*, 2000 ; Kouassi *et al.*, 2009). Il en découle une déforestation importante, une régression des types de savanes du fait des feux de brousse et une modification des habitats ayant pour conséquence une disparition de plusieurs espèces animales et végétales. Ces pratiques s'accroissent de plus en plus dans un contexte de croissance démographique où la demande en terres cultivables est permanente en vue d'une production agricole pour la sécurité alimentaire des populations.

Dans la région de Daloa comme dans le reste du pays, les paysans utilisent très souvent des intrants chimiques pour restaurer la fertilité des sols dégradés mais pas sans dommages au sol, à l'environnement et aux consommateurs (Gala *et al.*, 2007).

Dans un tel contexte, la recherche de techniques innovantes et moins coûteuses respectueuses de l'environnement est devenue plus que nécessaire pour restaurer la fertilité des sols. Ainsi, la fertilisation organo-minérale, par l'utilisation des services éco-systémiques de certains macro-invertébrés du sol tels que les termites et la valorisation des résidus agricoles pour améliorer les propriétés des sols sont des voies à explorer.

En effet, les termites représentent la macrofaune du sol la plus abondante pendant la saison sèche dans les sols tropicaux avec 95 % de la biomasse des insectes du sol (Bignell and Eggleton, 2000). Ils sont reconnus en tant qu'ingénieurs de l'écosystème parce que capables de modifier la disponibilité des ressources pour d'autres organismes (Jones *et al.*, 1994 ; Konaté, 1998). Ils participent à l'amélioration des propriétés physiques et chimiques des sols tropicaux et sub-tropicaux (Mando *et al.*, 2002 ; Ouédraogo *et al.*, 2008 ; Rajeev and Sanjeev, 2011) et contribuent à la restauration de la fertilité des sols (Boga *et al.*, 2000 ; Dosso *et al.*, 2017). Par leurs activités, les termites modifient profondément les propriétés physiques du sol remanié en intervenant sur les variations de texture, l'accroissement de la porosité autour des nids

et dans les milieux de récolte (Garnier-Sillam *et al.*, 1991, Tano, 1993).

En Côte d'Ivoire, les études sur les termites ont plus porté sur l'analyse de leur communauté dans des habitats naturels ou transformés (Josens, 1972; Konaté *et al.*, 2003 ; Tra Bi *et al.*, 2012 ; Coulibaly *et al.*, 2013) et sur leur action nuisible en agriculture (Akpesse *et al.*, 2008 ; Coulibaly *et al.*, 2014).

Très peu de travaux ont montré l'importance des termites dans la restauration de la fertilité des sols, hormis les études de Boga *et al.* (2000) qui ont porté sur l'utilisation des sols de leur construction dans l'amélioration des productions de riz et le maïs en savane et ceux de Dosso *et al.* (2017) qui ont mis en évidence la contribution des termites dans la restauration de la fertilité des sols dégradés en examinant leur apport en éléments nutritifs par la décomposition des résidus de quelques espèces végétales.

Les sous-produits agricoles pourraient être soumis à l'activité des termites afin d'obtenir un produit résiduaire organominéral. Inspirée d'une pratique de piégeage des termites pour l'élevage de volailles, le principe de la termitière artificielle est de piéger les termites dans un réceptacle contenant un amas de déchets constituant l'appât. Les termites le colonisent, y dégradent la matière pour leurs besoins et y font remonter la terre réalisant ainsi la termitière artificielle.

L'objectif de cette étude est de produire un fertilisant organique et minérale issu de l'activité des termites et d'identifier les termites impliqués dans cette production. Ce travail se distingue des études précédentes par la cueillette au même emplacement, de termites dans un contexte de piégeage sous la forme de termitière artificielle.

MATERIEL ET METHODES

SITES D'ETUDE ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Cette étude a été conduite à Daloa, dans la Région du Haut-Sassandra, au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire. La production du fertilisant organique et minérale a été faite sur deux (2) sites à Daloa (figure 1) ; Site 1 (N06°54'30.0" ; W006°26'08.7") UJLoG et site 2 LM5 (N06°52'26.2" ; W006°26'21.1") Centre-ville.

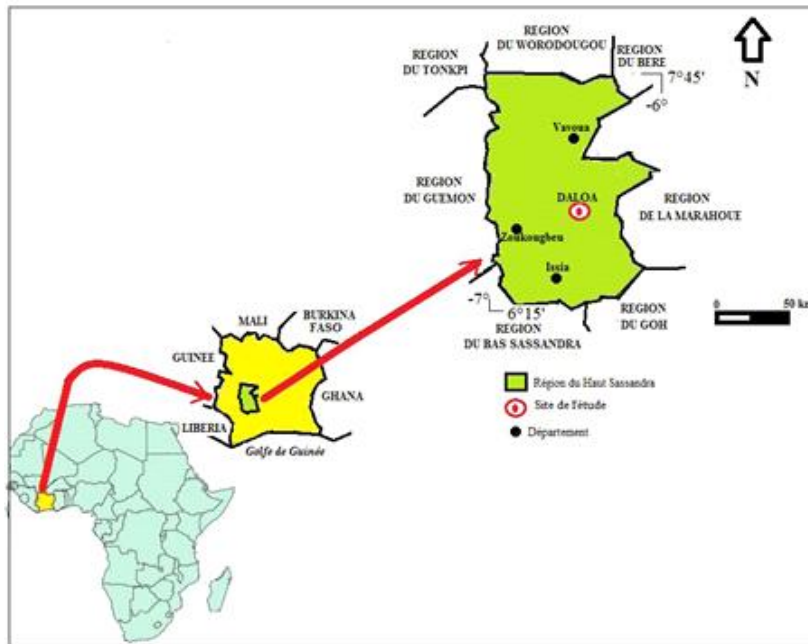


Figure 1 : Carte des sites de production du PRO.

Map of PRO production sites.

MATIERE PREMIERE ET MATERIEL TECHNIQUE

La matière première de cette activité de piégeage et de production de produit résiduaire organominéral termitique est constituée de déchets agricoles et d'élevage. Il s'agit des chaumes de maïs, de bouse de vache. Le

matériel technique est constitué de pots en terre cuite pour réceptacle ; de tamis pour la séparation du produit résiduaire organique des termites des résidus non digérés ; de microscope pour l'identification des termites et de piluliers, de l'alcool pour la conservation des termites (figure 2).

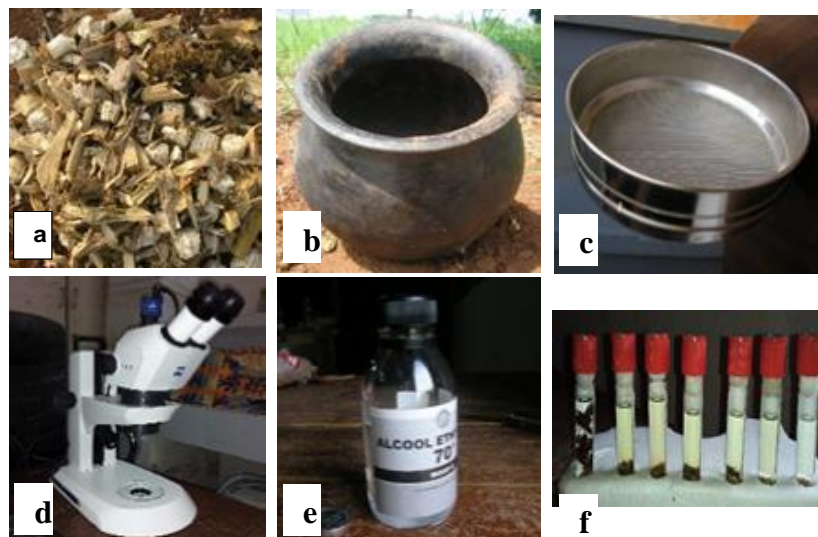


Figure 2 : Matière première et matériel technique.

Raw material and technical equipment.

a : Appât (résidus de récolte de maïs et déjections de bovin), **b :** Réceptacle de pot en terre cuite (Canari), **c :** Tamis 2mm de maille, **d :** Microscope ZEISS Stemi 305, **e :** alcool, **f :** Piluliers

a : Bait (corn crop residues and cattle droppings), **b :** Terracotta pot receptacle (Canary), **c :** 2mm mesh sieve, **d :** Microscope ZEISS Stemi 305, **e :** alcool, **f :** Piluliers

METHODES

OBTENTION ET CARACTERISATION DU PRODUIT RESIDUAIRE

Principe de la termitière artificielle des termites

Le principe de la termitière artificielle est de piéger les termites dans un réceptacle contenant un amas de déchets constituant l'appât. Ce dispositif appelé « Doungbolo » pratiqué par les éleveurs de volailles Senoufo au nord de la Côte d'Ivoire constitue la termitière artificielle de cette

étude. Le dispositif est installé à l'endroit où des placages (figure 3b) de termites ont été identifiés au préalable. Ces pièges chargés d'appâts sont fermés sous ombrage. Les termites le colonisent, dégradent le matériau selon leurs besoins et font remonter le sol, créant ainsi une termitière artificielle (figure 3c).

Le principe est basé sur la capacité des termites à digérer les résidus agricoles et à vivre en communauté. Les pièges sont généralement récoltés tous les deux (2) à trois (3) jours vers 10 heures du matin. La récolte est séchée (figure 3e) puis tamisée (figure 3f) pour recueillir le tamisât (figure 3g) constituant le produit résiduaire organique des termites.



Figure 3 : Quelques étapes de production du produit résiduaire organique des termites.

Some steps of production of the organic residual product of termites.

Dispositif

Le dispositif de collecte était un triangle rectangle isocèle de côtés 50 x 50 x 70,7 m d'une superficie de $\frac{1}{8}$ d'ha. Ce triangle a été subdivisé en 6 triangles isocèles rectangles plus petits. Au total, ce sont sept (7) pièges notés P₁ à P₇ qui ont été implantés dans le dispositif. Chaque piège constituait une répétition et les récoltes individuelles représentaient les traitements.

Le dispositif expérimental a consisté à poser 6 pièges et à créer une (1) zone de digestion libre par site. Les pièges P1 à P6 et la zone de digestion libre (DL = P7) ont servi à la production

du produit résiduaire organique des termites à partir des résidus de maïs sur chaque site. Les pièges et la zone de digestion ont été mis en place en tenant compte de la présence des termites. Les observations, espacées de trois (3) jours, ont été faites pendant le mois d'avril 2019 sur deux (2) sites.

Caractérisation physicochimique du produit résiduaire organique

Les paramètres analysés sur le PROTERM sont la granulométrie, effectuée par la méthode densimétrique à l'aide de la pipette de Robinson (Gee & Bauder, 1986), la teneur en matière

organique (MO), calculée après la détermination du taux de carbone organique, Phosphore assimilable (P.ass), déterminé selon la méthode Olsen modifiée (Dabin, 1967), la Capacité d'échange cationique (CEC), le pHeau, mesuré par lecture directe à l'aide pH-mètre, le Carbone organique total, déterminé selon la méthode de Walkley et Black (1934), l'Azote total (Nt), déterminé selon la méthode Kjeldahl (Bremner, 1996), la teneur du potassium échangeable (K⁺) et celle du sodium échangeable (Na⁺) mesuré par spectrophotométrie d'absorption atomique,

Efficacité de la production du PROTERM

Une masse de résidus agricoles est soumise à la digestion libre et en semi captivité des termites. La récolte du PROTERM a été faite tous les 3 - 4 jours pendant 3 semaines. La vitesse de digestion et le taux de production de produit organique sont déterminés. Cette détermination se fait de la façon suivante : (i) le contenu du piège est récupéré et séché. Après trois (3) heures de séchage au soleil, un tamisage est fait avec un tamis de 2 mm de maille afin de séparer les résidus non dégradés et les éléments grossiers du PROTERM. Les différentes quantités obtenues permettent de faire le calcul d'efficacité globale du piège par unité de temps.

$$E = \frac{PROTERM}{T} = \frac{R - (r + EG)}{T} \quad (E 1)$$

Avec :

- E = efficacité du piège
- R = Contenu du piège à la récolte
- r = résidus non digérés
- EG = Eléments grossiers remontés du sol.
- T = Temps de digestion

IDENTIFICATION DES TERMITES

Un échantillon des termites (7 soldats et 7 ouvriers) rencontrés par piège est prélevé à chaque récolte, à l'aide de pinces. Les termites collectés sont conservés dans de l'alcool éthylique à 70° dans des piluliers.

Les termites sont ensuite triés et identifiés sous un microscope stéréo Zoom ZEISS Stemi 305 (Figure 4).

Pour l'identification des termites récoltés, la morphologie de la tête des soldats a été utilisée. Les supports utilisés sont les clés de Bouillion et Mathot (1965), les illustrations sur les termites de Josens (1972) et les descriptions de Grassé (1984 et 1986). L'identification s'est faite sur le genre.



Figure 4 : Identification des termites au microscope stéréo Zoom ZEISS Stemi 305.

Termite identification under the Zoom ZEISS Stemi 305 stereo microscope.

METHODE DE TRAITEMENT DES DONNEES

Les données collectées sur le terrain ont été saisies et codifiées, à l'aide du tableur Microsoft Excel 2013®. Ces données ont été traitées avec le logiciel XLSTAT. La normalité des distributions des échantillons a été vérifiée par le test de Shapiro-Wilk, ainsi que l'homogénéité des variances. Si la variable dont provient l'échantillon suit une loi normale et qu'il y a homogénéité des variances, nous avons fait une ANOVA. Dans le cas contraire, nous avons fait le test non paramétrique de Kruskal-Wallis. L'analyse de variance a été complétée ensuite par le test de Newman-Keuls qui a permis de classer les moyennes à l'aide de la plus petite différence significative (ppds) au seuil de la probabilité de 5 %. Les corrélations de Pearson ont été effectuées pour déterminer les facteurs de production qui ont influencé significativement la production du produit résiduaire organique des termites.

RESULTATS

TAUX DE DIGESTION (T.DIGES) ET PRODUCTION DU PROTERM

Les quantités de matière digérée et de substance produite sont présentées dans le tableau I. La

quantité moyenne de résidus digérés ne varie pas avec les pièges ($p > 0,05$) quel que soit le site expérimental et cela, malgré une variation très hautement significative de la charge initiale dans les pièges à UJLoG ($P = 0,0004$ avec $r^2 = 0,7908$) et LM5 ($P = 0,0001$ avec $r^2 = 0,8753$) à la suite de 6 récoltes. Sur le site 1, la classification à partir du test de Newman-Keuls a permis de distinguer trois niveaux de charge initiale des pièges. Sur le site 2, la classification a permis de répartir les pièges en deux (2) classes dépendamment de la charge initiale.

La quantité moyenne du produit résiduaire organominéral obtenue par piège varie significativement quel que soit le site ($P = 0,035$ avec $r^2 = 0,58$ UJLoG et $P = 0,0177$ avec $r^2 = 0,62$ LM5). Sur le site 1, le piège P4 a produit la plus grande quantité de produit résiduaire organominéral avec 655,04 g contre 100,72 g, limite inférieure atteinte dans le piège P6. Les autres pièges ont des productions intermédiaires. Sur le site 2, le piège P6 a produit la plus grande quantité de produit résiduaire organominéral avec 2965,62 g et le piège P1 la plus petite quantité de produit résiduaire organominéral avec 545,35 g. Malgré cette production différenciée entre les pièges et les différences de charges initiales, le taux de digestion dans ces pièges est resté sans différence significative sur les deux sites ($P = 0,0763$, site 1 et $P = 0,0636$, site 2).

Tableau I : Caractéristiques de la production du produit résiduaire par les termites dans une termitière artificielle.

Pièges	UJLoG			LM5		
	Charge initiale (g)	Taux de digestion (g)	Produit résiduaire (g)	Charge initiale (g)	Taux de digestion (g)	Produit résiduaire (g)
P1	448,47 ^b	155,22 ^a	126,99 ^b	493,96 ^b	117,54 ^a	545,35 ^b
P2	614,97 ^{ab}	191,33 ^a	249,60 ^{ab}	683,21 ^b	363,15 ^a	1206,63 ^{ab}
P3	783,41 ^a	316,94 ^a	313,07 ^{ab}	1216,31 ^a	493,76 ^a	1663,79 ^{ab}
P4	513,01 ^b	241,70 ^a	655,04 ^a	1105,23 ^a	734,90 ^a	1257,47 ^{ab}
P5	469,91 ^b	165,64 ^a	288,40 ^{ab}	1374,58 ^a	1059,58 ^a	2159,31 ^{ab}
P6	544,13 ^b	157,57 ^a	100,72 ^b	1665,17 ^a	1324,36 ^a	2965,62 ^a
P7	784,10 ^a	272,35 ^a	413,49 ^{ab}	524,92 ^b	297,72 ^a	954,90 ^b
CV	0,2517	0,3828	0,7455	0,4645	0,8828	0,6201
P value	0,0004	0,0763	0,0350	0,0001	0,0636	0,0177
Effet	***	ns	*	***	ns	*

Les moyennes suivies de la même lettre le long des colonnes ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % pour le Test de Newman-Keuls ; * différence significative $P < 0,05$; ** : différence hautement significative $P < 0,01$; ***différence très hautement significative $P < 0,001$; ns : Différence non significative $P > 0,05$.

EFFICACITE DES PIEGES

Efficacité liée à la période de récolte

Deux activités principales sont réalisées par les termites dans le piège : la digestion des résidus agricole et la remontée de terre. Le taux de remontée minérale par les termites a varié d'une récolte à une autre sur chaque site. Faible au départ (23,44 g. J⁻¹ UJLoG et 124,39 g. J⁻¹ LM5), la quantité de matière minérale remontée a

progressivement augmenté pour atteindre des valeurs maximales comprises entre 55,05 et 55,63 g. J⁻¹ UJLoG et entre 227,20 et 307,05 g. J⁻¹ LM5. La digestion des résidus suit une allure quasi-parallèle sous la courbe de la remontée minérale depuis la première récolte LM5 et à partir de la troisième récolte pour le site 1 (Figure 5). Ce taux de digestion est resté compris entre 27,26 et 35,39 g.J⁻¹ à UJLoG et entre 57,73 et 113,99 pour le site 2.

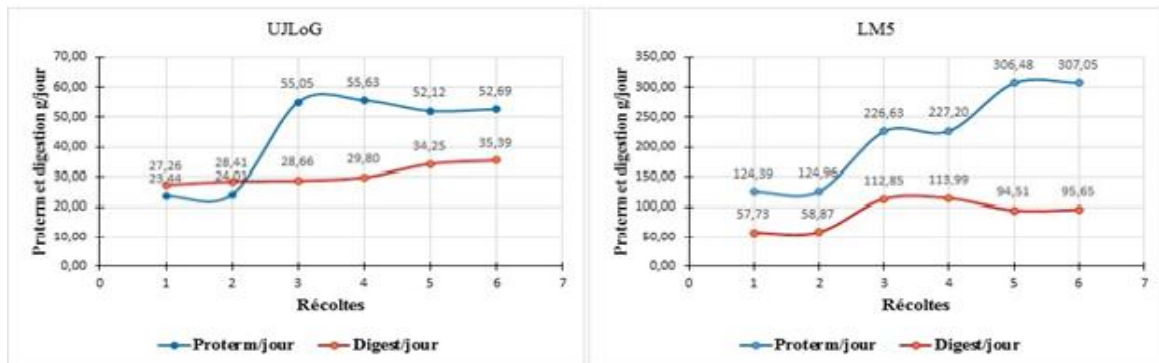


Figure 5 : Variation du taux de digestion et de remontée minérale selon les récoltes.

Variation in the rate of digestion and mineral upwelling according to the harvests.

Efficacité du piège

Les taux de digestion des résidus et de remontée minérale issus de l'activité des termites ont varié d'un piège à un autre et d'un site à l'autre (Figure 6).

Sur le site 1, le piège 4 présente le plus fort taux moyen de remontée minérale avec 93,57 g.j⁻¹ et un taux de digestion de 34,53 g.j⁻¹ alors que le piège 3 présente un taux de digestion moyen quotidien de résidus de 45,28 g.j⁻¹ pour 44,72 g de terre fine remontée par jour. Le piège

7 (zone de digestion libre), présente un taux de remontée minérale par jour de 59,07 g et un taux de digestion des résidus par jour de 38,91 g.

Sur le site 2, le piège 6 présente un taux moyen journalier de digestion des résidus de 189,1 g/jour et une quantité de remontée minérale de 423,66 g/jour alors que le piège 1 présente les plus faibles taux de remontée minérale et de digestion par jour avec respectivement 77,91 g/jour et 16,79 g/jour. La zone de digestion libre, le piège 7 présente un taux de remontée minérale par jour de 136,42 g et un taux de digestion des résidus par jour de 42,53 g.

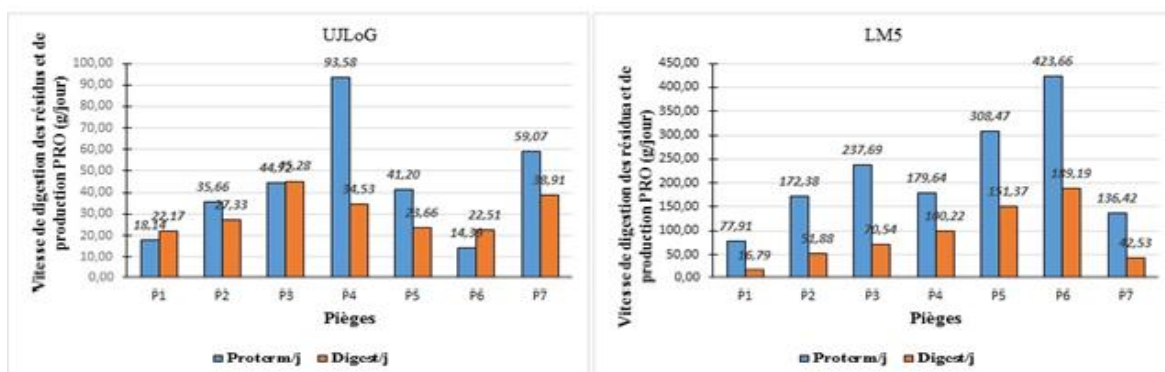


Figure 6 : Variation des taux de digestion et de remontée dans les pièges.

RELATION ENTRE LES FACTEURS DE PRODUCTION DU PRO ET SES COMPOSANTES

Les principaux facteurs de la production du PRO pris en compte sont le substrat (quantité) et le temps. Le taux de digestion de la biomasse végétale a une forte corrélation positive avec la charge initiale ($r = 0,90$; $\alpha < 0,0001$). Par ailleurs, ce taux s'est avéré également très fortement corrélée au taux de remontée minérale ($r = 0,73$; $\alpha < 0,0001$) et négativement corrélé avec le refus ($r = -0,40$; $\alpha = 0,0078$). Par ailleurs il n'y a aucune corrélation entre la quantité de résidus soumise aux termites et le refus. De même, il n'y a aucune corrélation entre le refus et la quantité de produit résiduaire. Toutefois, la quantité de résidus agricole mise à la disposition des termites a été très positivement corrélée à la quantité de PRO ($r = 0,76$; $\alpha < 0,0001$) et qu'elle influençait de façon hautement positive le taux de digestion ($r = 0,90$, $\alpha < 0,0001$).

ACTIVITE DES TERMITES

Deux activités des termites dans les pièges ont été mises en évidence. Les termites sont responsables de la digestion de la matière végétale mise à leur disposition et de la remontée dans les pièges de terre fine.

CARACTERISATION DU PROTERM

Granulométrie du PROTERM

L'analyse granulométrique des sols des sites de collecte et du PROTERM issu de chaque site a permis d'en déterminer la texture. Les résultats de cette analyse sont présentés dans le Tableau II ci-dessous.

Le sol des sites témoins étaient sablo-limoneux caractérisés par une abondance de sable (plus de 64 %) et de faibles proportions en argile (inf.

5 %). La teneur en argile du produit résiduaire des termites est améliorée par rapport aux sols témoins. En effet, les PROTERM UJLoG et LM5 ont présenté des teneurs en Argile de 9 % et 13 % respectivement soit 2 à 3 fois plus que les sols témoins. Les proportions de sable dans les produits résiduaire des termites sont restées presque inchangées avec une faible réduction des taux de limon des sols témoins. L'activité des termites a contribué à une réduction des teneurs de limons pour une amélioration des taux d'argile dans les produits résiduaire organominéraux contre une stagnation du taux de sable par rapport aux sols des sites.

Matière organique (MO)

Les taux de carbone et d'azote total (Tableau II) ont été influencés par l'activité des termites. La teneur en azote a varié faiblement malgré l'activité des termites sur les deux sites. Ce taux, à la limite juste suffisant pour les sols témoins des sites 1 et 2 avec respectivement 0,18 % et 0,17 %, a été nettement amélioré par l'activité des termites pour atteindre 0,20 % pour le PROTERM de UJLoG et 0,35 % pour le PROTERM du LM5. Quant à la teneur en carbone, elle a également varié sur les deux sites. Ce taux a été nettement amélioré, passant de 1,96 % à 2,27 % pour le site 1 et de 1,83 % à 4,82 % pour le site 2.

Le rapport C/N, indicateur du taux de minéralisation, a varié de 10,87 pour le sol de UJLoG à 11,34 pour le PROTERM collecté sur ce site et de 10,78 % pour le sol du LM5 à 13,78 pour le PROTERM collecté sur ce site.

Le niveau initial de MO dans les sols des 2 sites était moyennement bon avec respectivement 3,37 % pour le site 1 et 3,15 % pour le site 2 (Tableau II). Ce taux a été relevé dans les produits résiduaire organominéraux issus de l'activité des termites. Ainsi, il est passé de bon à très bon avec respectivement 3,90 % pour le PROTERM de UJLoG et 8,30 % issu du LM5.

Tableau II : Caractéristiques physico-chimiques des sols témoins et du fertilisant (PROTERM).

Site	Paramètres	Site 1		Site 2	
		Sol Témoin	PROTERM	Sol Témoin	PROTERM
pH	eau	5,00	6,60	5,30	6,50
	A	4,50	9,00	4,00	13,00
Granulométrie (%)	L	28,95	27,45	29,65	17,90
	A+L	33,45	36,45	33,65	30,90
	S	64,59	61,28	64,52	64,28
	C %	1,96	2,27	1,83	4,82
MO	Nt%	0,18	0,20	0,17	0,35
	C/N%	10,87	11,34	10,78	13,78
	MO%	3,37	3,90	3,15	8,30
	P.assi	mg/kg	37,00	96,00	41,00
Complexe absorbant (Cmol.kg-1)	Ca ²⁺	2,77	2,71	2,43	2,09
	Mg ²⁺	1,47	2,47	0,74	1,18
	Na ⁺	0,11	0,11	0,11	0,11
	K ⁺	0,16	2,30	0,27	1,09
	CEC	8,80	11,60	8,40	7,60
	S	4,51	7,59	3,55	4,47
	V	51,25	65,43	42,26	58,82

A : argile ; L : limon ; S : sable ; pH : potentiel hydrogène ; C : carbone ; C /N : rapport carbone azote ; Nt : azote total ; MO : matière organique ; P.assi : phosphore assimilable ; CEC : capacité d'échange cationique ; Ca²⁺ : calcium ; Mg²⁺ : magnésium ; Na⁺ : sodium ; K⁺ : potassium.

Propriétés chimiques du PROTERM

Les propriétés chimiques des sols et des PROTERM déterminées au laboratoire sont synthétisées dans le tableau II. Les propriétés chimiques analysées sont le pH ; la matière organique (MO), le carbone (C) ; le complexe absorbant, l'azote (N) et phosphore (P).

pH

Les sols témoins des sites UJLoG et LM5 ont présenté des pH acide de 5 et 5,3 respectivement. Dans les PROTERM, les pH ont été sensiblement augmentés, s'inscrivant dans la gamme des pH peu acide avec 6,6 pour le PROTERM de UJLoG et 6,5 pour le PROTERM issu du LM5.

Phosphore (P)

L'activité des termites a fait augmenter la teneur en phosphore du sol des deux sites. Ainsi, du statut de pauvre (37 mg/kg pour le site 1 à 41 mg/kg pour le site 2), les sols des 2 sites ont permis de produire du PROTERM moyennement pauvre en phosphore avec 96 mg/kg et 63 mg/kg respectivement.

Complexe absorbant

La qualité de la CEC a été légèrement améliorée par les termites dans le PROTERM issu de UJLoG (11,60 cmol/kg) comparé au sol témoin (8,8 cmol/kg). Cependant, au LM5, la CEC (8,4 cmol/kg), faible dans le sol est restée faible dans le PROTERM (7,6 cmol/kg). Toutefois, alors que la teneur en Ca²⁺ a été faiblement réduite par l'activité des termites sur chacun des sites, les teneurs des autres cations basiques (Mg²⁺, K⁺ et Na⁺) ont connues des améliorations variables. Le potassium (K⁺) et le magnésium (Mg²⁺) ont été eu les plus fortes améliorations. La somme des base bien que améliorée dans les PRO, est demeurée faible dans tous les cas avec des taux de saturation moyens.

IDENTIFICATION DES TERMITES IMPLIQUES DANS LA PRODUCTION DU PRODUIT RESIDUAIRE

Au total, 6 genres de termites appartenant à la famille des Termitidae ont été récoltés sur les deux sites (Tableau III et Figure 7). Ces six (6) genres se répartissent en 3 sous-familles :

Macrotermitinae, Nasutitermitinae et Termitinae. Ces 6 genres sont : *Ancistrotermes*, *Macrotermes*, *Odontotermes*,

Pseudacanthotermes, *Trinervitermes* et *Péricapritermes*.

Peuplement de termites sur les sites

Tous les six (6) sont retrouvés UJLoG à UJLoG alors que seuls trois (3) ont été identifiés LM5. Ce sont : *Ancistrotermes*, *Odontotermes*, et *Pseudacanthotermes*.

Peuplement en fonction des pièges

Le genre *Pseudacanthotermes* a été identifié dans les six (6) pièges et dans la zone de digestion libre de UJLoG et LM5. Le genre *Ancistrotermes* a été identifié dans quatre (4) pièges et dans la zone de digestion libre de UJLoG et dans cinq (5) pièges du LM5.

Le genre *Odontotermes* a été identifié dans deux (2) pièges et la zone de digestion libre de UJLoG et dans un seul piège du LM5. Le genre *Macrotermes* a été identifié dans cinq (5) pièges de UJLoG. Le genre *Trinervitermes* a été identifié dans trois (3) pièges et dans la zone de digestion libre du site 1 (UJLoG). Le genre *Péricapritermes* a été identifié à UJLoG dans un seul piège.

Sur les deux (2) sites confondus, trois (3) groupes trophiques ont été observés à savoir les champignonnistes avec les genres *Ancistrotermes*, *Macrotermes*, *Odontotermes* et *Pseudacanthotermes*, les fourrageurs, constitué uniquement du genre *Trinervitermes* et les humivores qui ont été représentés seulement par les *Péricapritermes*. Le genre *Pseudacanthotermes* est plus actif sur les deux sites que les autres genres de termites.

DISCUSSION

Les résultats ont mis en évidence la dégradation des résidus agricoles par les termites et la remontée de constituants minéraux fins du sol (Tano, 1993) pour constituer un substrat à composition organique et minérale. La présence de cette fraction fine constituée de sable, de limon et d'argile se justifie par l'édification du nid au fur et à mesure que les termites se nourrissent (Grassé, 1950). Selon Sileshi *et al.* (2010), le termite remonte la terre fine pour construire son nid et cette matière minérale se mélange au produit de la digestion pour constituer le produit résiduaire organominéral élaboré par les termites. C'est en fait ce mélange, à diverses proportions dépendamment du genre

Tableau III : Genres de termites récoltés sur les sites.

Famille	Sous Famille	Genres	Site 1			Site 2		
			Pièges	Digestion libre	Piège	Digestion libre	Groupes trophiques	
Termitidae	Macrotermitinae	G. <i>Pseudacanthotermes</i>	+++	+-	+++	+-	Champignonnistes	
		G. <i>Ancistrotermes</i>	++	+-	++	-		
		G. <i>Odontotermes</i>	+	+-	+-	-		
		G. <i>Macrotermes</i>	++	-	-	-		
Nasutitermitinae Termitinae	G. <i>Trinervitermes</i>	++	+-	-	-	Fourrageurs Humivores		
	G. <i>Péricapritermes</i>	+	-	-	-			

- : Absence ; +- : Peu rencontré ; + : Modérément rencontré ; ++ : Abondant ; +++ : Très abondant

de termites, qui constitue la partie visible d'une termitière dans la nature. Dans la termitière artificielle de cette étude, les termites ont construit les galeries de leur nid avec cette substance organominérale en utilisant la salive, l'argile et les substances humiques pour servir de lien aux particules de sable. Ainsi, le produit de la digestion et la remontée minérale sont complémentaires dans l'édification de la termitière. Cela justifie que les termites contrôlent la production de matière organique et le transfert de fraction fine du sol dans leurs habitats. La digestion et la remontée de terre étaient faibles au départ du fait d'une colonisation du piège et de l'habituation progressive des termites à leur nouvel habitat et aux résidus (Soro *et al.*, 2021). En effet, les termites ont trouvé des conditions d'humidité favorables à leur développement et au renouvellement de la colonie. Nos résultats sont conformes à ceux de Li *et al.* (2017) qui ont montré que de relatives conditions d'humidité sont favorables pour une meilleure croissance en nombre des termites. Les taux de digestion et de remontée semblent se contrôler mutuellement, confirmant ainsi les travaux de Pomeroy (2005) et de Cheik *et al.* (2019) qui ont montré une corrélation positive entre la quantité de végétal digérée et la quantité de remontée. Ainsi, une forte activité de digestion est couplée à une forte remontée de terre et inversement pour constituer le produit résiduaire organominéral. Cependant, la quantité de matière disponible pour les termites n'a aucun impact sur la quantité de produit résiduaire organominéral élaborée par les termites. En effet, cette absence de corrélation se justifierait par la part importante que représente la fraction de terre remontée dans la termitière comparée à la fraction organique mais aussi par la limitation de la quantité de résidus dans le piège. Par ailleurs, ce résultat pourrait être en lien avec le régime alimentaire des termites impliqués dans cette digestion. En effet, pour se nourrir et maçonner leurs nids, les termites font remonter une grande quantité de matière minérale à laquelle s'incorporent la matière végétale dégradée (Sileshi *et al.*, 2010). Lorsque la quantité de résidus est suffisante, l'activité se fait et les deux (2) phénomènes se contrôlent mutuellement. Cependant, un manque de détritux végétaux réduit la remontée minérale

Par ailleurs, la terre fine remontée par les termites a contribué à augmenter la teneur en argile et la teneur globale en A+L dans le produit résiduaire organominéral, réduisant les

proportions relatives de sable par rapport au sol témoin. La teneur en argile a pu être multipliée par 2 dans le produit résiduaire par rapport au sol témoin. Ce résultat confirme que les termites sont des ingénieurs du sol ayant la capacité de modifier la texture du sol par remaniements.

La différence entre les charges initiales observées dans les pièges ne pourrait s'expliquer que par les différences de volumes des réceptacles constituant les pièges et la texture du résidu constituant l'appât.

Le taux de matière organique dans les produits résiduaire organominéraux a atteint des valeurs modérées à bonnes, est dans l'ensemble plus élevé que celui du sol témoin comme l'ont observé Boga *et al.* (2000) et Jouquet *et al.* (2002) avec les matériaux de *Cubitermes* pris dans la nature. Ce résultat est confirmé par ailleurs par Rouland-Lefevre et Bignell, (2001) et Roose *et al.* (2004) qui ont démontré que l'activité des termites accroît la teneur en matière organique dans le sol. L'augmentation de la teneur en matière organique du PROTERM est liée à la digestion des résidus par les termites et les déjections qu'ils déposent dans le piège. En effet, les termites hébergent des bactéries qui par leurs différentes activités métaboliques, produisent des composés carbonés non assimilés par ceux-ci. Ces composés insolubles se fixent aux colloïdes et aux minéraux du sol pour former de l'humus améliorant la fertilité du sol (Mora *et al.*, 2005). Les termites participent ainsi à la décomposition de la matière organique et peuvent ainsi contribuer à une meilleure gestion de son évolution dans les écosystèmes agricoles.

La CEC, faible dans les PRO comme sur le sol témoin, a peu varié du sol témoin au produit résiduaire des termites. Par ailleurs, seules les teneurs en magnésium et potassium ont été améliorées dans les termitières artificielles. Cette faible variation est non seulement, le fait de la fraction argileuse, mais aussi, de la matière organique qui en sont les plus grandes contributrices conformément aux travaux de Jouquet *et al.* (2002) et de Kifukiéto (2014). En effet, les substrats agricoles utilisés seraient moins pourvus en calcium et sodium. Ainsi, selon Kifukiéto (2014), l'augmentation de la capacité d'échange des cations dans les termitières semble due principalement à l'augmentation du taux d'argile alors que l'enrichissement en bases échangeables (Ca, Mg, K, Na) et phosphore proviendraient de

l'incorporation des fèces à la termitière. L'enrichissement en phosphore des sols issus de l'activité des termites est en relation avec la dynamique de terre fine qui transite par le tube digestif des termites d'une part et la quantité de P contenue dans les résidus soumis aux termites. En effet, le transit intestinal de la terre fine favorise la libération du phosphore qui est restitué par les déjections du termite. Brauman et Fall (1997) ont montré que les termitières des termites humivores se caractérisent par leur forte teneur en phosphore assimilable. Kwabiah et al. (2003), ont signalé par ailleurs que la libération du phosphore pendant la décomposition est positivement corrélée avec le contenu initial de P dans les résidus agricoles. Les déchets de récoltes de maïs et les déjections de vaches qui ont été les principaux ingrédients du résidu soumis aux termites peuvent justifier l'amélioration du taux de phosphore dans le produit résiduaire organominéral des termites.

Les termites récoltés appartiennent majoritairement au groupe trophique des champignonnistes qui établissent une relation symbiotique extradigestive avec un champignon supérieur (Basidiomycètes) du genre *Termitomyces*. Cette relation faciliterait la dégradation des aliments (Guedegbe et al., 2008) permettant ainsi leur installation dans presque tous les milieux (Konaté et al., 2005). Ce résultat est conforme aux traits écologiques des genres concernés, à savoir les genres *Pseudacanthotermes*, *Ancistrotermes* ; *Odontotermes* et *Macrotermes* qui ont une capacité à s'adapter à divers milieux et des préférences alimentaires notoirement variées (Dosso et al., 2012). Cette présence pourrait aussi s'expliquer par la grande aptitude à la compétition de ces genres de termites (Konaté, 1998) et par la structure de leur nid, généralement souterrain. Ces termites remontent pour se nourrir avec les résidus contenus dans les pièges qu'ils colonisent. Nos résultats sont aussi en accord avec Josens (1977) qui note que les termites champignonnistes sont les plus grands consommateurs de débris végétaux d'origine ligneuse et herbacée. Ce résultat est également en accord avec Schuurman (2005) qui affirme que les champignonnistes sont les leaders dans la décomposition de la matière organique.

La grande diversité en termites de UJLoG par rapport au site LM5 pourrait s'expliquer par l'état des sites. En effet, LM5 qui se trouve au centre-ville est un milieu fortement anthropisé comparé à UJLoG qui est une jachère de plus de 3 ans à

la lisière de la ville. Plusieurs travaux ont montré que les perturbations anthropiques et l'intensité de l'utilisation du sol réduisaient la richesse et modifiaient l'assemblage des communautés de termites (Jones et al., 2003 ; Olugbemi, 2013 ; Hausberger et Korb, 2016 ; Muvengwi et al., 2017 ; Schyra et Korb, 2017). Cependant ; la dégradation du milieu affecte moins les termites champignonnistes (Guedegbe et al., 2008). C'est ce qui faciliterait ainsi leur installation dans les milieux les plus défavorables (Konaté et al., 2005). Cette facilité d'adaptation des champignonnistes justifie la prédominance des genres de termites appartenant à ce groupe et en quantités plus importantes. Cette abondance pourrait aussi s'expliquer par les caractéristiques pédologiques du sol des différents sites (Davies et al., 2014 ; Pequeno et al., 2015 ; Muvengwi et al., 2018). En effet, le pH des sols et les conditions relativement d'humidité sont favorables pour une meilleure croissance en nombre des termites (Li et al., 2017)

Le genre *Pseudacanthotermes* est plus actif que les autres genres sur les deux (2) sites. Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'il a un régime plus diversifié car il consomme la litière d'origine arbustive ou graminéenne ou même des végétaux vivants (Josens, 1972).

CONCLUSION

L'étude menée a permis de déterminer le potentiel de fertilité des produits organominéraux issus de l'activité des termites en captivité confirmant le rôle des termites dans la fertilité des sols et d'identifier les genres de termites impliqués dans la production.

Les termites modifient la texture du sol en surface par la remontée d'éléments fins (A+L) pris dans les profondeurs et enrichissent le sol de leurs déjections en matière organique qui améliorent la capacité d'échange de cations. Les termites peuvent ainsi contribuer à la restauration des sols dégradés par la dégradation des sous-produits agricoles.

Cette étude a également permis d'identifier cinq (5) genres de termites qui seraient les principaux agents dans la production du PRO. Ces sont : les genres *Ancistrotermes*, *Macrotermes*, *Odontotermes*, *Pseudacanthotermes* et *Trinervitermes*. Cette diversité de termites serait liée aux caractéristiques pédologiques du site de collecte et à l'action de l'homme.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous adressons nos remerciements aux responsables du Lycée Moderne 5 de Daloa et de l'UJLoG pour avoir permis la pose des pièges à termites sur leurs sites et l'université Péléforo Gon Coulibaly pour la contribution à l'identification des termites.

REFERENCES

- Akpesse AAM, Kouassi KP, Tano Y. et Lepage M. (2008). Impact des termites dans les champs paysans de riz et de maïs en savane subsoudanienne (Booro-Borotou, Côte d'Ivoire). *Sciences et Nature*, 5 (2):121-131.
- Bignell DE. and Eggleton P. (2000). Termites in ecosystems. In: Abe T, Bignell DE, Higashi M (eds) *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. Kluwer Academic Press, Dordrecht, : 363-387.
- Boga JP, Kouassi P, Yapi A, Tahiri A. et Tano Y. (2000). Influence de matériaux termitiques sur quelques paramètres agronomiques de deux cultures vivrières en milieu de savane de Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 12(1) : 1-10.
- Boli Z et Roose E., (2000). Rôle de la jachère de courte durée dans la restauration de la productivité des sols dégradés par la culture continue en savane soudanienne humide du Nord-Cameroun. In : Floret Ch. et Pontanier R., eds. *La jachère en Afrique tropicale*. Paris: John Libbey Eurotext, : 149-154.
- Bouillon A. & Mathot G. (1965). Quel est ce termite Africain ? *Zooleo* n°1, Leopoldville Univ, Leopoldville. 115p.
- Brauman A., Fall S., (1997). Impact des termites humivores et de leur microflore digestive sur la transformation de la matière organique du sol. Laboratoire de microbiologie du sol, centre ISRA-ORSTOM de Bel-Air, Dakar, Sénégal. 9 p.
- Brauman A., (2000). Effect of gut transit and mound deposit on soil organic matter transformations in the soil feeding termite: a review. *European Journal of Soil Biology*, 36: 117-125.
- Bremner J.M. (1996). Nitrogen-total. In : *Methods of soil analysis : Chemical methods part 3*. Sparks D.L. (Ed.), Soil Science Society of America Inc, *American Society of Agronomy*, Madison, Wisconsin, USA : 1085-1122.
- Cheik S, Shanbhag R, Harit A, Bottinelli N, Sukumar R, Jouquet P (2019). Linking termite feeding preferences and soil physical functioning in Southern-Indian woodlands. *Insects* 10:4. <https://doi.org/10.3390/insects10010004>
- Coulibaly T, Boga JP, Yapi A. and 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(9) : 632-649.
- Coulibaly T. (2014). Diversité et dégâts des termites dans les vergers de manguiers (*Mangifera indica* L., 1753, Anacardiaceae) de la région de Korhogo (Côte d'Ivoire) et essai de lutte par utilisation d'extraits aqueux de trois plantes locales, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, 154p.
- Dabin B. (1967). Sur une méthode d'analyse du phosphore dans les sols tropicaux. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Antananarive, Madagascar, 19-25 novembre, n°1 : 99-115.
- Davies, A.B., Levick, S.R., Asner, G.P., Robertson, M.P., van Rensburg, B.J., Parr, C.L., (2014). Spatial variability and abiotic determinants of termite mounds throughout a savanna catchment. *Ecography* 37 (9): 852-862.
- Dosso K, Yéo K, Konaté S and Linsenmair KE. (2012). Importance of protected areas for biodiversity conservation in central Côte d'Ivoire: Comparison of termite assemblages between two neighbouring areas under differing levels of disturbance. *Journal of Insect Science* 12: 13-18.
- Dosso K., Koné F, Kra K D et Konaté S : (2017). Décomposition des résidus végétaux par les termites et apport de matière organique au sol dans la région de Lamto Côte d'Ivoire). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 33 (3): 5320-5331
- Gala J. T. B., Camara M., Assa A. et Keli J. Z., (2007). Problématique de l'utilisation des engrais minéraux dans les zones de production du riz : cas du Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine* 19 (2) : 173 - 185
- Garnier-Sillam E., Braudeau E. et Tessier D., (1991). Rôle des termites sur le spectre poral des sols forestiers tropicaux. Cas des *Thoracotermes macrothorax* Sjöstedt (Termitinae) et de *Macrotermes mülleri* (Macrotermitinae). *Pédologie*, 38 : 391-412.

- Gee G.W. & Bauder J.W. (1986). Particle-size analysis. In : Methods of soil analysis. Part 1 : Physical and mineralogical methods (ed. A. Klute). *American society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI* : 383-411.
- Grassé P., (1950). Termites et sols tropicaux. *Revue Internationale de Botanique Appliquée et Agriculture Tropicale.*, (337-338) : 549-554.
- Grassé P. P., (1982). Termitologia. Tome II. Anatomie, Physiologie, Reproduction des termites. *Fondation Singer-Polignac, Masson, Paris*, 676 p.
- Grassé P. P. (1984). Termitologia. Tome II. Fondation des sociétés, construction. Masson, paris, 613p.
- Grassé P.P. (1986). Termitologia. Tome III. Comportement, socialité, écologie, évolution et systématique. Masson, Paris, 715 pp.
- Guedegbe H., Houngnandan P., Roman J. & Rouland-Lefevre C., (2008). Patterns of substrate degradation by some microfungi from fungusgrowing termites combs (Isoptera: Termitidae: Macrotermitinae). *Sociobiology*, 52(3): 51-65.
- Han S. H., Noirot CH. (1983). Développement de la jeune colonie chez *Cubitermes fungifaber* (Sjostedt) (Isoptera : Termitidae). *An. Soc. Ent. France*, 19(4) : 413 - 420.
- Hausberger, B., Korb, J., (2016). The impact of anthropogenic disturbance on assembly patterns of termite communities. *Biotropica* 48 (3), 356-364.
- Jones CG, Lawton JH. And Shachak M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*69 : 373-386.
- Jones, D.T., Susilo, F.X., Bignell, D.E., Hardiwinoto, S., Gillison, A.N., Eggleton, P., (2003). Termite assemblage collapse along a land-use intensification gradient in lowland central Sumatra, Indonesia. *J. Appl. Ecol.* 40 (2), 380-391.
- Josens G. (1972). Études biologiques et écologiques des termites (Isoptera) de la savane de Lamto. Thèse de Doctorat de l'Université libre de Bruxelles, 262 p.
- Josens G. (1977). Recherches sur la structure et le fonctionnement des nids hypogés de quatre espèces de Macrotermitinae (Termitidae) communes dans les savanes de Lamto (Côte d'Ivoire). Mémoires de la Classe des Sciences de l'Académie royale des Sciences de Belgique 42: 1-123.
- Jouquet P ; Mamou L, Lepage M, Velde B, (2002). Effect of termites on clay minerals in tropical soils ; fungus-growing termites as weathering agents. *European Journal of Soil Science*, 53 (4): 521-527.
- Kifukiéto C., (2014). Inventaire préliminaire des termites(Isoptera) des plateaux des Batakés en République Démocratique du Congo. *Entomologie Faunistique – Faunistic Entomology*, 67 : 49-57.
- Konaté S. (1998). Structure, dynamique et rôle des buttes termitiques dans le fonctionnement d'une savane préforestière (Lamto, Côte d'Ivoire). Le termite champignoniste *Odontotermes* comme ingénieur de l'écosystème. Thèse de Doctorat, Université. Paris VI. 252p.
- Konaté S, Le Roux X, Verdier D. and Lepage M. (2003). Effect of underground fungus growing termites on carbon dioxide emission at the point and landscape scales in an African savanna. *Functional Ecology* 17: 305-314.
- Konaté S., Yéo K., Yeboue L., Alonso L. F. & Kouassi K. (2005). Evaluation rapide de la diversité des insectes des forêts classées de la Haute Dodo et du Cavally (Côte- d'Ivoire). *RAP Bulletin of Biological Assessment*, C I. Washington DC, 27 p.
- Kouassi K. H., N'Guessan K., Gnahoua G. M. et kouassi K.E., (2009). Flore post-culturelle en zone de forêt dense semi décidue de côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 19: 1026 - 1040
- Kwabiah A, Palm C, Stoskopf N, Voroney R (2003). Response of soil microbial biomass dynamics to quality of plant materials with emphasis on P availability. *Soil Biol Biochem* 35 : 207-216
- Lachaud M., (2002). Les nids de *Macrotermes subhyalinus* Rambur (Isoptera) : des îlots de fertilité garantissant une production minimale en céréale (Piémont Fali, Nord-Cameroun) Thèse / th 0215008- partie 2 : 163p.
- Li, Y., Dong, Z.Y., Pan, D.Z., Pan, C.H. and Chen, L.H. (2017). Effects of termites on soil pH and its application for termite control in Zhejiang Province, China. *Sociobiology*, 64: 317–326.
- Mando A, Brussaard L, Stroosnijder L. and Brown GG. (2002). Managing termites and organic resources to improve soil productivity in the Sahel. In: Program, Abstract and Related documents of the International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture, Brown GG, Hungria M, Olivera LJ,

- Bunning S, Montanez A, (eds.), Série Documentos Londrina, Brazil, 182 : 191-203.
- Mora P., Miambi E., Jimenez J J., Deaëns T., Rouland C., (2005). Functional complement of biogenic structures produced by earthworms, termites and ants in the neotropical savannas. *Soil Biology & Biochemistry*, 37: 1043-1048.
- Muvengwi, J., Mbiba, M., Ndagurwa, H.G., Nyamadzawo, G., Nhokovedzo, P., (2017). Termite diversity along a land use intensification gradient in a semi-arid savanna. *J. Insect Conserv.* 21 (5-6): 801-812.
- Muvengwi, J., Davies, A.B., Parrini, F., Witkowski, E.T.F., (2018). Geology drives the spatial patterning and structure of termite mounds in an African savanna. *Ecosphere* 9 (3), e02148. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2148>.
- Olugbemi, B.O., (2013). Termite assemblages and decomposition of tissue paper baits along a gradient of land use intensification in Owena, southwest Nigeria. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 11 (2):223-235.
- Ouédraogo E, Mando A. and Brussaard L. (2008). Termites and mulch work together to rehabilitate soils, Low external Input and Sustainable Agriculture (LEISA) Magazine, 24(2), 28p.
- Pequeno, P.A.C.L., Franklin, E., Venticinque, E.M., Acioli, A.N.S., (2015). Linking functional trade-offs, population limitation and size structure: termites under soil heterogeneity. *Basic Appl. Ecol.* 16 (4): 365-374.
- Pomeroy, D., (2005). Dispersion and activity patterns of three populations of large termite mounds in Kenya. *J. East Afr. Nat. Hist.* 94 (2): 319-341.
- Rajeev V. and Sanjeev A. (2011). Impact of termite activity and its effect on soil composition. *Tanzania Journal of Natural and Applied Science*, 2: 399 - 404.
- Roose AC., Brygoo Y., Harry M., (2004). Ascomycete diversity in soil feeding termite nests and soils from a tropical rainforest. *Environmental Microbiology* 6 (5): 462-469.
- Rouland-Lefevre C., Bignell D., (2001). Cultivation of symbiotic fungi by termites of the subfamily Macrotermitinae. In: *Symbiosis: Mechanisms and modelsystems*. Seckbach J (ed), *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht*, : 731-756.
- Schuurman, G., (2005). Decomposition rates and termites assemblage composition in semiarid Africa. *Ecology* 86 (5) :1236-1249
- Schyra, J., Korb, J., (2017). Termite Communities along a Disturbance Gradient in a West African Savanna. bioRxiv. <https://doi.org/10.3390/insects10010017>.
- Sileshi, G.W., Arshad, M.A., Konate, S., Nkunika, P.O., (2010). Termite-induced heterogeneity in African savanna vegetation: mechanisms and patterns. *J. Veg. Sci.* 21 (5) : 923-937.
- Soro D., Boni K. Konaté Z., Abobi H., Angui T.P., (2021). Agronomic Potential of the Artificial Termite Mound of Senoufo Poultry Farmers in Northern Côte d'Ivoire. *International Journal of Science and Research*, Volume 10 (1) : 1004-1013
- Tano Y., (1993). Les termitières épigées d'un bassin versant en savane soudanienne. Répartition et dynamique des nids, rôle sur les sols et la végétation. Thèse de Doctorat ès-sciences naturelles, Université Nationale de Côte d'Ivoire. 240p.
- Tra Bi CS, Boga JP, Akpessé AAM, Konaté S, Kouassi P. et 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 (4) : 519-530.
- Walkley A. and Black I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 34: 29-38.

Publication 2

Soro D., Yeo L., Konate Z., Guei A. M. & Zro-Bi F. G. (2021). When Termites' Waste Products Highlight a Fundamental Law of Fertilization under Rainfed Rice Cultivation in West Côte d'Ivoire. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 3 (1) : 53- 60.

When Termites' Waste Products Highlight a Fundamental Law of Fertilization under Rainfed Rice Cultivation in West Cote d'Ivoire

Dogniméton Soro, Lacina Yeo, Zoumana Konate, Martinez Arnauth Guei, and Gohi Ferdinand Zro-Bi

ABSTRACT

Food security is a major development issue in Côte d'Ivoire that is experiencing population growth over 3% per year. Food crop production, however, is experiencing weak growth, most often linked to increase in area. In addition, low yields could be explained by the scarcity of rainfall in a context where farmers hardly use agronomic-based fertilizers without soil analysis although Cote d'Ivoire is agricultural based developing country. To be part of integrated production logic in rice production, a study is initiated in 2016 in Daloa in order to improve the yield of paddy rice by using a local amendment produced by termites kept in captivity on agricultural residues. Four (4) doses of this amendment made of termites' waste products (TWP): 1.8%; 3.6% and 7.2% and 14.4% of one hectare soil weight were tested versus an unfertilized (control) and a NPK fertilized (100kg.ha). The experimental design consists of randomized complete blocks with three replicates. Plant growth parameters such as plant height at maturity, total number of tillers, number of leaves at the beginning of tillering, biomass at maturity and yield data were collected. The results showed that all agronomic parameters were improved with increasing dose up to an optimum dose that can be found between 7.2 % and 14.4 % of termites' waste products. The highest yield (2484.3 kg.ha⁻¹) was obtained with the 7.2 % dose. The results of the application of the TWP on rice showed important yield increases with efficacy varying from 30 to 72 % compared to common fertilizer application and 27.1 to 221.9 % if compared to non-fertilized plot.

Keywords: Amendment, fertilizer, rice, termites, termites' waste product (TWP), valorization, yield.

Published Online: January 18, 2021

ISSN: 2684-1827

DOI: 10.24018/ejfood.2021.3.1.218

Dogniméton Soro*

University Jean Lorougnon Guede,
Laboratoire d'Agrovalorisation, Côte
d'Ivoire.

(e-mail: dognysoro@gmail.com)

Lacina Yeo

University Jean Lorougnon Guede,
Laboratoire d'Agrovalorisation, Côte
d'Ivoire.

(e-mail: tchebelass@yahoo.fr)

Zoumana Konate

University Jean Lorougnon Guede,
Laboratoire d'Agrovalorisation, Côte
d'Ivoire.

(e-mail: zoumko@yahoo.fr)

Martinez Arnauth Guei

University Jean Lorougnon Guede,
Laboratoire d'Agrovalorisation, Côte
d'Ivoire.

(e-mail: gueiarnauthmartinez@yahoo.fr)

Gohi Ferdinand Zro-Bi

University Jean Lorougnon Guede,
Laboratoire d'Agrovalorisation, Côte
d'Ivoire.

(e-mail: zraubigof@yahoo.com)

*Corresponding Author

I. STATEMENT OF NOVELTY

Soil organisms such as termites and earthworms are recognized as soil engineers who participate in loosening soil and mixing the deep layers constituents with those of the surface. If earthworms are used in the production of high value earthworm compost, termites' activity has always been studied in their environment explaining their social life, contribution to soil and damages to crops. This experience is dealing with another aspect of termite life. The principal aim is to breed termites in semi-controlled environment by valorizing an Ivoirian local practice that consists in collecting termites' by trapping method in poultry rearing. Termites' trapping has never been conducted elsewhere and has not been published before. It has been conducted to produce TWP and test as soil amendment in rice production.

This paper is presenting a new product (TWP) obtained from termites' trapping that can be used in sustainable management of soil fertility. The results of the application of

the TWP on rice showed important yield increases varying from 30 to 72 % compared to common fertilizer application and 27.1 to 221.9 % compared to non-fertilized plot. This organic product has also improved soil texture.

II. INTRODUCTION

Rice (*Oryza sativa* L.) is globally, an important cereal crop widely produced in the world. This cereal is the third most-consumed grain crop after wheat and maize [1]. About 148.3 million hectares of rice are grown in the world while rainfed rice occupies about 19.1 million hectares equal to 13% spread over three continents. Asia (10.7 million ha), Latin America (3.7 million ha) and Africa (2.3 million ha) are the greatest producers for rainfed rice [2]. Rice production in Africa accounts represented about 3% of global production estimated at 720 million tons in 2011 [3]. However, rice needs are growing in sub-Saharan Africa due to population growth of 4% per year and interest in rice by local people [4]. Its production is facing many biotic and abiotic constraints

like other countries of the world. Among these, soil fertility management in the hard pedoclimatic and frequent drought periods are the major ones.

Ivorian rice consumption has more than doubled in the last 30 years moving from 30 kg / capita/year in 1981 to 70 kg/capita/year now [2]. This change in demand for rice is supported by changes in food habits. Indeed, the country produces only 40 to 45% of its consumption despite the strong potential of the agricultural sector [5]. This underperformance in rice production leads to food insecurity, malnutrition and poverty [6]. It is possible it be linked to certain production constraints related to scarcity, irregularity and insufficient rainfall. However, parasite pressure, meanly prevalence of blast and leaf blotch, declining soil fertility, varietal potential (low productivity cultivars) and limited access to agricultural inputs (seeds, fertilizer) may also explain this deficiency [7]. Several actions with very promising results have been proposed to fill this production gap and to achieve food self-sufficiency in rice. These include:

- mineral fertilization with chemical fertilizers [8];
- organic fertilization through the use of compost, green manure, nitrogen-fixing legumes [10];
- manure, dung, [11];
- cultivation techniques through the practice of crop combinations, rotations and assoiation [12], [13], [9].

However, these different actions have not made it possible to significantly increase rice production in Côte d'Ivoire. The causes mentioned for this failure are the poor popularization of new techniques, the constraints linked to their implementation and above all the financial impact they generate and which cannot be borne by the peasant who practices subsistence agriculture. According to the National Office of Rice Development (ONDR), annual production is 1,399,407 tons of milled rice for an estimated need of 2,600,000 tons [14]. The causes mentioned for this failure are the poor distribution of the new techniques, the constraints related to their implementation and especially the financial cost that cannot be supported by the farmers practicing subsistence agriculture.

Rainfed rice production is faced with several constraints such as soil infertility, pests and diseases, drought and global climate changes. Chemical fertilisation as well as varietal improvement have been tested either in crop production or in export products with numerous consequences. In fact, the consequences of chemical fertilisers' application are fertility losses with soil acidification, degradation of soil physical status and loss of soil organic matter [15]. Then, there are environmental pollution and threats on consumer health. It is therefore essential to look for integrated strategies for the sustainability in soil management and crop productivity. Soil organisms such as termites and earthworms are recognized as soil engineers who participate in loosening soil and mixing the deep layers constituents with those of the surface. If earthworms are used in the production of high value earthworm compost, the wildness state of the termites and their extreme mobility makes their captivity living almost impossible despite their strong social structure. Termites' activity is essential in the regeneration and maintenance of soil physical, chemical and biological fertility. Farmers fear termites when drought comes in maize production. But,

Senoufo farmers in the north of Cote d'Ivoire, by combining livestock rearing with tillage, have developed a termite trapping strategy for their poultry. The trapping method is based on the consumption of maize residues by termites in terracotta pots placed all over the bush on potential termite nests. The result of this semi captivity is an organo-mineral product with termites given to poultry. The remaining waste from their feeding area are collected and dumped in the fields as an amendment for soil fertility management. One of the solutions may lie in the use of organic waste products as local fertilizers that are accessible to everyone [16]. This is the soil fertility strategy by which the Senoufo farmer are managing their agricultural plots for generations. It is in this context that this work has been proposed to understand and to explain the termites' waste products (TWP) uses as a soil amendment to the improvement of rice productivity. Specifically, it aimed at evaluating the fertilizing capacity of termites waste products applied to rice cultivation.

III. EXPERIMENTAL SECTION

A. Study Area

The study was carried out at Daloa (Côte d'Ivoire), on the experimental site of Jean Lorougnon Guede University (06°54'28.9 "north latitude and 06 ° 26'14.8" west longitude) (Fig. 1). The soils are generally ferralitic, favourable for industrial crops (coffee, cocoa, rubber, etc.) cereal, food, and vegetable crops [17].

The climatic regime is that of the Guinean domain, characterized by an equatorial and subequatorial regime with two rainfall maxima. The month of June represents the peak of the great rainy season and that of September the peak of the short rainy season [18]. The annual rainfall varies between 1,200 and 1,700 mm, the annual average temperature is 25 °C and the relative humidity of the air is around 75% [19].

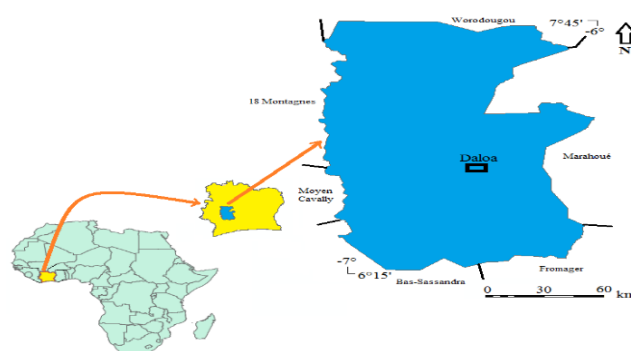


Fig. 1. Study area location.

B. Experimental Material

Seeds of a local rice cultivar named "Djoukèmin" of 145 days cycle duration [20] is used. Plants from those seeds constituted the biological material on which growth parameters and yield data are collected.

The technical equipment is composed of ploughing tools, tools for measuring agronomic parameters, tools for studying the soil and equipment for weighing harvests. A camera was

used for image saving and a GPS Garmin served to save geographical coordinates of the experimental area.

The fertilization material included was composed of Termites' waste products (TWP) resulting from their activity, NPK fertilizer (15-15-15) at 150 kg.ha⁻¹ and urea 46% at 70 kg.ha⁻¹ in a single broadcast application at the beginning of panicle initiation (51st day after sowing).

C. TWP Production

A crumbled mass and moistened with agricultural residues is placed in a terracotta pot (canary). This pot is implanted in the living space of termites where clues of their presence are identified by soil veneers on plant and / or animal residues. A shelter is provided to reduce the impact of the sun. Traps are harvested every seven (7) days between 9 a.m. and 11 a.m. in order to minimize the presence of termites in the traps. The harvest is done as follows:

1. Open the trap by turning it over;
2. Empty its contents into a container;
3. Dry the product in the shade;
4. Pass the dry product through a coarse sieve to separate the crude product from the undigested residue;

The harvested TWP is transported to the laboratory and dried in the shade for 24 hours. After drying it is sieved this time with a sieve of 2mm mesh then weighed and stored in a labeled plastic bag.

D. Experimental Design

The experimental design is a RCBD (Randomized Complete Blocks Design) with three replicates of six (6) fertility levels each (Fig. 2). The applied treatments are:

- T0: (No-fertiliser Check), without amendments;
- T1: Contribution of 1.8% of the soil mass contained in one ha of control soil corresponding to 36 t.ha⁻¹ of Termite Waste Product (TWP).
- T2: Contribution of 3.6% of the mass of soil contained in one ha of control soil corresponding to 72 t.ha⁻¹ of TWP.
- T3: Contribution of 7.2% of the mass of soil contained in one ha of control soil corresponding to 144 t.ha⁻¹ of TWP
- T4: Contribution of 14.4% of the soil mass contained in one ha of control soil corresponding to 288 t.ha⁻¹ of TWP.
- T5 (Fertiliser Check): 150 kg.ha⁻¹ NPK 15 15 1 5 at sowing and 70 kg.ha⁻¹ urea 46% in a single broadcast application at the beginning of panicle initiation (51st day after sowing) [21].

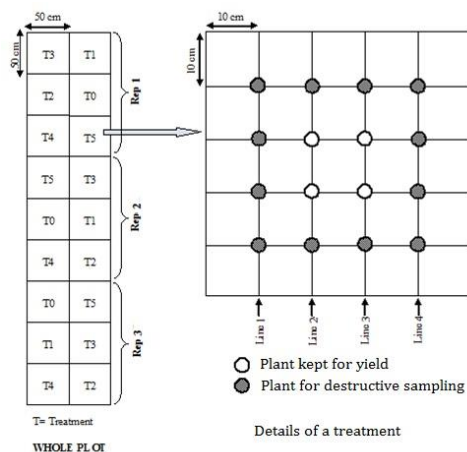


Fig. 2. Experimental design (RCBD).

E. Calculated Values

The data collected from these six treatments served to draw yield evolution curve as a function of the doses of TWP from which the values of intermediate doses, not included in the test will be deduced. The intermediate doses are defined at 2.5 %, 4.5 %, 5.4 % and 6.3 % according to $n+1.8 \% n$ being the precedent dose and 1.8 % the increment value.

F. Analysis for Soil and Termites Waste Product

The control soil sample and a sample of the TWP were analysed at the ESA Soil, Water and Plant Laboratory (Yamoussoukro INPHB). The physicochemical parameters analysed are:

- Soil pH by the potentiometric method using 1: 2.5 soil / water suspension and read using a pH meter [22].
- Total carbon by Walkey and Black test and potentiometric titration [23]. The organic matter is then determined by calculation according to the formula: % MO = 1.724 x % C
- Total nitrogen by mineralization according to Kjeldhal method [45], then by titrimetry of the ammoniacal nitrogen collected after displacement of the latter by sodium hydroxide and steam entrainment.
- The assimilable phosphorus (P₂O₅) according to OLSEN method [24]. The extraction is made by sodium hydrogen carbonate at pH of 8.5. This method is based on the formation and reduction of a complex of orthophosphoric acid and molybdic acid. The phosphorus content was read using a visible UV spectrophotometer at a wavelength of 825 nm. The result is expressed in ppm.
- Exchangeable potassium (K₂O) by extraction with 1N CH₃COONH₄ ammonium acetate at pH 7 [22].
- Sodium exchangeable by saturation of the soil absorbing complex in favour of a single cation (Na⁺) [25].
- Cation exchange capacity by saturation of the soil with calcium ions by a molar solution of calcium chloride followed by washing with 0.01 molar solution of calcium chloride to remove the excess of chloride [26].

G. Measurements on Plant Growth and Productivity

The height of the seedlings is measured from soil to the end of the longest leaf at the heading. For each replicate, the measurement was repeated on six (6) plants and the average value of the six measurements was considered per treatment.

The number of tillers was determined by the average of tillers per plant calculated on the basis of the number of tillers obtained by counting on six plants at the 139 das.

The number of leaves was determined by calculating the leaves average per plant after counting on six plants per plot at 40 and 139 d.a.s.

Destructive sampling is done on two plants per treat at two different ages at 40 and 139 d.a.s. The plants chosen are gently dug up after abundant watering to preserve all the roots. The roots are then rinsed with water and wrung out with blotting paper. Each fresh plant is weighed before taking the root by section of the stem under the collar. Then, the fresh roots and aerial part of each plant are weighed separately. The plants are then placed in an oven for drying at a temperature of 70 °C. for 48 hours. After drying, the dry mass of each part is determined by weighing.

The yield was calculated at 15 % moisture by weighing the rice after threshing using the following formula:

$$\text{Yield (R)} = \frac{\text{Grain mass harvested (kg)}}{\text{Harvested area (m}^2\text{)}} \times \frac{(100-h)}{H-15} \quad (1)$$

where: h = Moisture content of rice at harvest.
H = Moisture content of dried rice.

TWP efficacy was therefore calculated using the following formula:

$$\text{Efficacy (E)} = \frac{\text{FpY}-\text{CpY}}{\text{CpY}} \times 100 \quad (2)$$

Where: E = Treatment Efficacy.
FpY = Fertilised plot Yield.
CpY = Control plot Yield.

H. Data Analysis

The data obtained was statistically processed using the SAS version 9.4 software. Analysis of variance (ANOVA) was supplemented by a T-test that ranked the means using the least significant difference (LSD) at the 5% probability level.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

A. Termite Waste Product Effect on Soil Properties

The control soil is sandy-loam, very closed to sandy with 76.25% sand 24.75% of combined clay and silt constituting the fine fraction of the soil. The termites' activity helped to improve this textural position by raising the combined clay and silt content to 41.23% with respectively 21.23% clay and 20 % silt changing the proportion of sand from 76.25 to 58.77% (Table I). The TWP used to amend the soil was an organo-mineral substance that had improved physical properties compared to the control soil. The granulometry showed an enrichment of the TWP in clay and silt compared to the control soil. Indeed, in their burrowing activities for feeding and building their habitat, termites modify the physical properties of the soil [27] by coming up from the depths, fine elements that they mix with the organic matter produced during the digestion of the residues offered to them. The texture of the TWP is then sandy clay loam while the control soil is sandy loam (Fig. 3). The large amounts of textural and structuring elements available in these substrates could show a double effect of improving water efficiency and mineral dynamics [28]. Their application to the soil will contribute to improve the texture in the soil upper layer. Enrichment in clay and silt suggested better mineral behaviour of the waste products of termites' activity. In fact, the residual product from termite activity showed improved chemical content. The highest level of available phosphorus (83.7 ppm) was obtained in TWP. This product had better cation exchange capacity (13.16 cmol.kg⁻¹) compared to the control soil (9.3 cmol.kg⁻¹). Furthermore, the control soil had more saturated with Ca²⁺ (25.6%) and Mg²⁺ (23.7%) than the TWP (21.1% and 16.3% respectively) which is more loaded with K⁺ with 6.7% against 1.1% in the control soil. TWP

seemed richer than control with low positive difference for K⁺ (Table I).

The chemical composition of the soils showed that the TWP is richer in phosphorus and had better cation exchange capacity as shown by [29] and [30]. TWP also had high levels of total nitrogen, total organic carbon, and organic matter compared to the control soil. Indeed, while the organic matter content was not sufficient (2.48%) in the control soil, it had an acceptable value with 3.69% in the TWP. Carbon levels reflected this organic matter (1.44 % for control vs 2.14 % for TWP) content because of the very close relationship between the two parameters. The enrichment of the soil in colloidal elements (humus and clay) and in magnesium can be a source of improvement of the texture and soil structure. The good level of CEC of the TWP confirmed enrichment in clay and organic matter, components with high exchange capacity. This physical and chemical contribution of the TWP made it to be an organo-mineral amendment of interest.

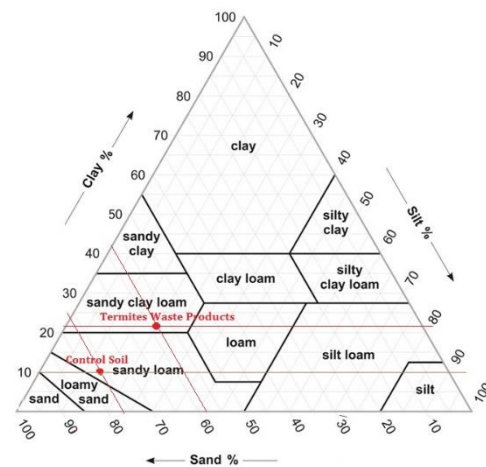


Fig. 3: Texture of the TWP according to the USDA Texture Chart.

These improvements could be of a certain beneficial to crops, especially since TWP did not significantly alter soil pH. Indeed, pH, an important parameter in soil dynamics, influences three important components of soil fertility: nutrient bioavailability, biological activity, and structural stability [31], [32].

The improvement of the fertility parameters justified the good behaviour of the plants on the soils that had received the TWP in amendment. The plots that received the TWP had a textural advantage by remaining in the same favourable pH zone for rice [33]. Soil organic matter is an important indicator of soil quality through its contribution to stability, soil water retention and as a substrate for microorganisms in the soil [34]. In addition, the nutrients availability was more favourable to production in the presence of termite amendment than without amendment. In fact, in agricultural practice, in order to obtain large yields, people fertilize their crops most commonly with mineral fertilizers containing nitrogen, phosphorus and potassium. Their efficiency depends on the soil physical properties [35]. TWP is a product with organic and mineral content that combine organic and mineral activities on soil. Its application improved soil physical and chemical properties that could modify nutrient availability positively. The physical action is essential for the sustainability in the fertility management.

TABLE I: CHARACTERISTICS OF THE SOIL AND TWP

Sample	pH	C	N	M O	P.ass (ppm)	CEC cmol.kg ⁻¹	Soil Saturation (%)				
							Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	V
Control soil	6.8	1.4	0.13	2.4	63	9.3	25.8	23.7	1.1	1.1	51.6
TWP	6.2	2.1	0.19	3.6	83.7	13.2	21.2	16.7	6.5	2.2	46.5

B. Contribution of TWP to Rice Production

The soil amendment with TWP significantly improved plant height ($P = 0.0014$, $\alpha = 0.05$) as depicted in Table II. 14.4 % of TWP allowed the highest height (105.22 cm) of rice plant followed 7.2 % TWP. The chemical fertilizer (NPK) application came in third position with 88.55 cm (Table II). Plants from non-fertilised soil had the lowest heights. The contribution of TWP significantly ($P = 0.0053$, $\alpha = 0.05$) improved foliar emission in rice. The number of leaves of the plants was increased with NPK, 14.4 % and 1.8 % TWP. The T-test using the least significant difference ($l_{sd} = 0.62$) allowed fertility levels to be ranked in three (3) classes (Table II). The number of tillers increased with the TWP dose. It developed an average of 2.21 tillers per plant stand without TWP to reach 4.24 tillers per plant stand at 7.2% of TWP. The difference is significant ($P = 0.0075$, $\alpha = 0.05$). Treats T3 (7.2%) and T4 (14.4%) showed good tillering in relation with biomass and plant height according to [16] justifying the good productivity for these doses in opposition with [37] who showed that yield is not directly correlated with vegetative development of the plant. Indeed, the yield in paddy is well correlated with tillering [16] on which depends the number of fertile tillers.

TABLE II: VARIATION OF SOME MORPHOLOGICAL PARAMETERS ACCORDING TO THE TREAT

	Plant height at maturity (cm)	Number of leaves at 40 das	Tillering at maturity
T0 (check)	72.55 ^d	5.07 ^c	2.21 ^c
T1 (1.8%)	83.72 ^c	6.28 ^a	2.68 ^{bc}
T2 (3.6%)	89.29 ^{bc}	5.95 ^{ab}	2.86 ^{bc}
T3 (7.2%)	95.25 ^{ba}	5.38 ^{bc}	3.33 ^{ab}
T4 (14.4%)	105.22 ^a	6.21 ^a	4.24 ^a
T5 (check)	88.55 ^{bc}	6.21 ^a	2.49 ^{bc}
CV (%)	6.88	5.78	17.08
LSD	11.15	0.62	0.92
Pstar	0.0014**	0.0053**	0.0075**

CV: Coefficient of variation; Averages followed by the same letter along the columns are not significantly different at the 5% threshold for the T-Test; lsd: least significant difference; *: Significant at 0.05; **: Highly significant difference at 0.01; das: day after sowing.

The effect of TWP on the agronomic parameters (height, number of leaves, tillering and biomass) of the rice showed its good fertility potential. Plots amended with TWP had better development in harmony with the results of [16] on rice and maize. Rice plants mobilize large quantities of nutrients with a special requirement for nitrogen, potassium and phosphorus plus calcium and magnesium [36]. The content of these elements in the soil determined the growth and the productivity of rice, thus explaining the good growth of rice on the T3 (7.2% TWP) and T4 (14.4% TWP) plots that have a good fertility level. The contribution of TWP had a significant effect on the plants biomass. This reflected the significant difference observed between the biomass for the different treats ($P < 0.01$, $\alpha = 0.05$). Thus, for fresh aerial biomass at maturity, the T-test classification using the least significant difference ($l_{sd} = 10.89$) allowed fertility levels to

be ranked in two (2) classes where T4 (14.4 % TWP) was isolated with best amounts (Table III).

The large amount of vegetative and root biomass obtained in the T4 (14.4% TWP) and the large size of the plants of the same treat compared to the others could be explained by a good availability of the nitrogen brought by the TWP.

TABLE III: AERIAL AND ROOT BIOMASS AT 139 DAYS AFTER SOWING EXPRESSED IN G PER PLANT

	Fresh aerial biomass	Dry aerial biomass	Fresh root biomass	Dry root biomass	Fresh biomass of the whole plant	Dry biomass of the whole plant
T0 (Check)	15.28 ^b	6.01 ^b	5.42 ^c	2.42 ^c	20.71 ^b	8.43 ^b
T1 (0.9%)	17.05 ^b	7.02 ^b	7.76 ^{bc}	3.47 ^{bc}	24.82 ^b	10.50 ^b
T2 (1.8%)	17.17 ^b	6.95 ^b	6.44 ^{bc}	2.90 ^{bc}	23.62 ^b	9.85 ^b
T3 (3.6%)	18.52 ^b	7.32 ^b	7.26 ^{bc}	3.24 ^{bc}	25.78 ^b	10.56 ^b
T4 (7.2%)	39.36 ^a	16.06 ^a	13.76 ^a	6.17 ^a	53.13 ^a	22.24 ^a
T5 (check)	19.24 ^b	6.38 ^b	9.94 ^b	4.44 ^b	29.18 ^b	12.83 ^b
CV (%)	28.37	26.20	22.96	23.20	24.98	24.19
l _{sd}	10.89	4.11	3.52	1.59	13.43	5.46
Pstar	0.005**	0.002**	0.004**	0.004**	0.003**	0.002**

CV: Coefficient of variation; the averages followed by the same letter along the columns are not significantly different at the 5% threshold for the T-test. lsd: least significant difference; *: Significant at 0.05; **: Highly significant difference at 0.01.

The paddy yield showed a highly significant difference between soil fertility ($P = 0.0002$, $\alpha = 0.05$) (Table IV). The T-test using the least significant difference ($l_{sd} = 511.68$) allowed fertility levels to be ranked in four (4) classes including one intermediate.

TABLE IV: YIELD OF RICE UNDER TWP FERTILIZATION IN KG.HA⁻¹

	Grain Yield (kg/ha ⁻¹)	Efficacy1 to no-fertilised soil (%)	Efficacy to chemical-fertilised soil (%)*
T0 (Check)	771,6d	0,00	-46,42
T1 (1.8 %)	981,1cd	27,15	-31,87
T2 (3.6 %)	1 207,30cd	56,47	-16,17
T3 (7.2 %)	2 484,30a	221,97	72,51
T4 (14.4 %)	1 872,40b	142,66	30,02
T5 (Check)	1 440,10bc	86,64	0,00

The averages followed by the same letter along the columns are not significantly different at the 5% threshold for the T-Test; LSD = 511.68 kg.ha⁻¹ *: The sign (-) corresponds to a yield gap compare to the chemical-fertilized control treatment (T5).

Termites waste products progressively increased rice yield (Fig. 4) from 771.6 kg.ha⁻¹ without fertilizer to 2484.3 kg.ha⁻¹ with the dose T3 (7.2% of TWP) considered as optimum yield. Beyond this dose (7.2 %), the yield decreased considerably to reach 1 872.4 kg.ha⁻¹ at T4 dose (14.4%) inducing 30.02 % yield loss compared to that received from NPK treatment. Yield obtained with the mineral fertilizer gave a loss of 72 % productivity compared to the optimum considered at 2484.3 kg.ha⁻¹ obtained with 7.2 % TWP application (Table IV). The curve of Fig. 4 highlighted the law of less-than-proportional surpluses in rice yield submitted to termite wastes products as amendment.

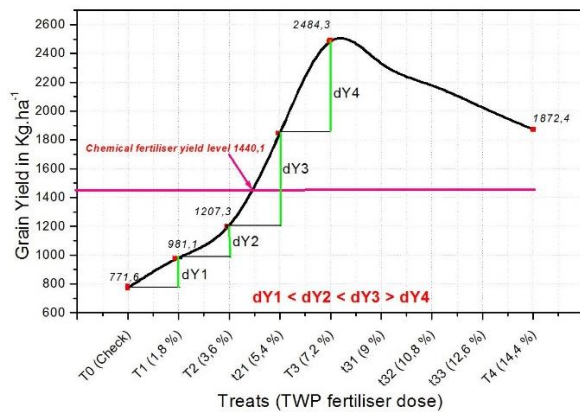


Fig. 4: Evolution of rice yield as a function of TWP dose.

In fact, the addition of the same TWP dose improved yield with increasing increment up to the optimum yield than, that increment decreased. T3 (7.2 % TWP) yielded more than T4 (14.4 % TWP) despite low tillering, as for [38], low fertility levels can produce better yield with less tillers. The superiority of the yield obtained with 7.2 % TWP compared to 14.4 % TWP led to the hypothesis of the existence of a depressive effect of the TWP on the yield at 14.4 %. The yield deficit observed with the highest dose of TWP while the height and the number of tillers increased, reflected a luxury consumption justifying the law of less-than-proportional surpluses in rice production under termite wastes products fertilisation. In fact, the addition of 1.8 % produced yield gain up to the optimum dose then, it induced yield losses. The yield level with 14.4 % TWP could also be explained by a disruption of grain filling phase by water deficit in December, corresponding to the end of the rainy season in accordance with [39]-[42]. In fact, high doses of fertilizers generate high water requirements that the plant did not cover in conditions of water stress, leading to a drastic reduction in grain yield [43]. Indeed, TWP is more clayey than control soil and, increasing its dose, increased soil clay level. In clayey conditions, drought effects are important on crops. This phenomenon made it possible to determine the optimal TWP dose at 7.2 % (T3), applicable for rainfed rice cultivation under Ivorian central west soil conditions. A TWP recommendable dose should be around 7.2 %. African farmers had good practices by using termite waste products to fertilise their fields. They had certainly profit in practising so since, TWP application induced higher yield than non-fertilised plot even, more than plots fertilised with common NPK + Urea combined fertilisation. Indeed, the Yield gap is positive and varied from 30 % to 72 % when compared to mineral fertiliser similar to [44]. The TWP showed good yield potential in regards with its mineral and organic content. The CEC was at good level as well as major cations (Ca^{2+} , Mg^{2+}) contributing for 21.2 % and 16.7 % to soil saturation. The soil saturation had been improved in relation with textural and organic improvement, thus, Clay and organic matter are responsible for soil mineral adsorption. Soil pH had also been improved increasing plants nutrition conditions. Those good properties allowed TWP fertilised plots to yield 27.1 to 221.9 % more than non-fertilised plots from 1.8 % TWP to 7.2 % TWP application. Used at 3.6 %, TWP provided 56.5 % efficacy but stayed not enough to overcome mineral fertiliser. TWP applied (1.8% - 7.2%) had

been 0.27 to 2.21 times more efficacy than non-fertilised plot and 0.3 to 0.72 times efficacy than mineral fertilisation. The low TWP applications (1.8 to 3.6 %) produced less than mineral fertiliser.

V. CONCLUSION

The study of the physicochemical characteristics of termite wastes products showed that this product is an organo-mineral amendment of interest. Its' application contributed to the improvement of height, tillers production, total biomass content and especially it improved the yield of paddy from 771.6 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (without fertilizer) to 2484.3 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (7.2 %) better than NPK application 1440.1 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. The TWP efficacy had varied between 27.1 and 221.9 % and from 30 to 72 % in comparison with non-fertilised and mineral fertilisation respectively. Yield improvement is the consequence of soil texture and chemical properties improvement.

All these results showed that the termite waste product can contribute to build a sustainable solution to soil fertility management and could be valued as an effective soil organic amendment to increase rice productivity. In addition, it is a simple technique that is within the reach of the farmers and it allows to reduce farmers' expenses for agricultural inputs as far as chemical fertilisers are considered. In addition, it has the advantage of promoting poultry farming by making available food for these animals. However, it would be interesting to determine the conditions of a large-scale production to facilitate its extension. The research is going on and massive production methods are in test in respect of the termites and their environment.

APPENDIX

This appendix provides a graphical summary of the TWP production process and the application made in rice field.

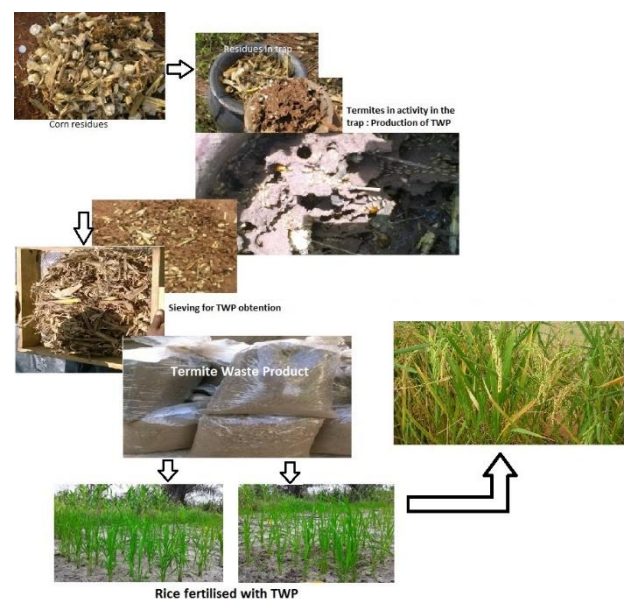


Fig. 5. TWP production process.

ACKNOWLEDGMENT

Authors thank Jean Lorougnon Guede University authorities for all support for this study that valorised farmers knowledge and each farmer who contribute to the work.

REFERENCES

- [1] P. Krishnan, B. Ramakrishnan, K.R. Reddy and V.R. Reddy, "High-temperature effects on rice growth, yield, and grain quality". *Advances in Agronomy*, 111: 87–206, 2011.
- [2] FAO, Système amélioré de riziculture pluvial, 2013, 121p.
- [3] FAO, Production et superficie mondiales de riz Paddy. Résumé du suivi du marché du riz, relevé d'avril, 2012, 5p.
- [4] Balasubramanian V., Sié M., Hijmans R.J. and Otsuka K.: Increasing rice production in sub-saharan Africa: Challenges and opportunities. *Advances in Agronomy*, 94 : 55–133, 2007.
- [5] F. Bahan, F. Kassim, B. Kone, J.M. Johnson, H. Gbakatcheche, A. Bouët, Z. Keli, A. Yao-Kouame et M. Camara, «Impact de la riziculture traditionnelle sur la fertilité du sol: Incidence de l'association riz (*Oryza sativa* L.) – maïs (*Zea mays* L.) sur quelques propriétés physiques d'un ferralsol dans le Centre Ouest de la Côte d'Ivoire». *Asian journal of science and technology vol 7 n 3*: 2588-2595, 2016.
- [6] Africa Rice, « Rice production trends », Cotonou, Bénin, 2008, 86p.
- [7] CNRA, "Le paillage par le pois d'angole pour améliorer le rendement du riz pluvial en Côte d'Ivoire", 2011, www.cnra.ci. Consulté le 10/12/18.
- [8] J. Gigou, "L'azote dans les systèmes de culture du nord et du centre de la Côte d'Ivoire". In: Munlongoy K, Gueye M et Spencer DSC (Eds). Biological nitrogen fixation and sustainability of tropical agriculture. John Wiley and Sons, *Chichester*, 1992, pp. 337-394.
- [9] E. Roose, J. Albergel, G. De Noni, M. Sabir et A. Laouina "Efficacité de la GCES en milieu semi-aride", AUF, EAC et IRD Editeurs, Paris. 2008, 425p.
- [10] J. M. Harmand et P. Ballé, "La jachère agroforestière (arborée et arbustive) en Afrique tropicale". In : La jachère en Afrique tropicale: De la jachère naturelle à la jachère améliorée. *Le point des connaissances, Paris, France, John Libbey*, 2001 vol. 2 pp. 265-292.
- [11] F Ganny, Z. J. L. Sanogo, J. Gigou et R. Olivier, "Intensification du système cotonnier-sorgho au Mali-sud fondée sur le fumier et la gestion optimale de la fertilisation", In : La jachère en Afrique tropicale : Rôles, aménagements, alternatives. *Actes du séminaire International, Dakar, 13-16 avr. 1999, vol. I, John Libbey, Paris*, 2000, 804p.
- [12] A. Kouadio « Arrières effets du niébé (*Vigna unguiculata* et du soja (*Glycine max*) sur les céréales : cas du riz pluvial et du maïs », Mémoire de BTS Agricole. INFPA, Abengourou, Côte d'Ivoire, 2003, 21p.
- [13] F. Lompo, « Effets induits des modes de gestion de la fertilité sur les états du phosphore et la solubilisation des phosphates naturels dans deux sols acides du Burkina-Faso ». Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles. Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 2008, 214p.
- [14] ONDR, (2015). Production du riz en Côte d'Ivoire de 2010 à 2015. Ministère de l'Agriculture, http://www.ondr.ci/statistique_production.php, Consulté le 31/08/2018.
- [15] Bationo A. et Somda Z, (1994). Gestion de la fertilité des sols. In : W. B. Hoogmoed, M. C. Klajj (Eds.). Le travail du sol pour une agriculture durable, Cours de formation, 4 - 13 juillet 1994. FAO, W.B. Hoogmoed M.C. Klajj, Niamey, Niger, <http://www.fao.org/docrep/W7304F/W7304F00.htm> consulté le 02/08/18.
- [16] J. Boga, P. Kouassi, A. Yapi, A. Tahiri et Y. Tano « Influence de matériaux termitiques sur quelques paramètres agronomiques de deux cultures vivrières en milieu de savane de côte d'Ivoire: Effects of termites mound material on the growth of food crops in the savanna areas of lamto and booro-borotou ». *Agronomie Africaine*, 2000, vol 12 pp. 1-10.
- [17] B. Dabin, N. Leneuf et G. Riou « Carte pédologique de la Côte d'Ivoire au 1/2.000.000. Notice explicative ». *ORSTOM*, 1960, 39 p.
- [18] Y.T. Brou, « Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire ». Mémoire de synthèse des activités scientifiques. Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Technologies de Lille, France, 2005, 2p.
- [19] M. Eldin, «Le climat», In: Le Milieu Naturel de la Côte d'Ivoire, 1971, pp. 73–108.
- [20] L. Becker et R. Diallo, « Caractérisation et classification des écosystèmes rizicoles de la Côte d'Ivoire. ADRAO, Bouaké, Côte d'Ivoire ». 1992, 301p.
- [21] G. Bi T. Jérémie, C. Maméri, N. Mako, K. Z. Jules, « Bien fertiliser le riz pluvial en Côte d'Ivoire, Fiche technique », Comité de validation : O. Tahouo, J.Z. Kéli, G.B. Déa, M.B. Béninga. Direction des programmes de recherche et de l'appui au développement - Direction des innovations et des systèmes d'information, 2010.
- [22] E. Van Ranst, M. Verloo, A. Demeyer and J.M. Pauwels, "Manual for the Soil Chemistry and Fertility Laboratory-Analytical Methods for Soils and Plants, Equipment, and Management of Consumables". NUGI 835, Ghent, Belgium (ISBN 90-76603-01-4), 1999, 243 pp.
- [23] A. Walkley and C. A. Black "An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposal modification of the chromic acid titration method". *Soil Science*, 1934 vol 37 pp. 29-38.
- [24] S.R. Olsen, C.V. Cole, F.S. Watanabe, and L.A. Dean, "Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate". U.S. Department of Agriculture, Washington DC, 1954, vol 939 pp. 1-19.
- [25] C.A. Bower, R.F. Reitemeier and M. Fireman, « Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils », *Soil Science* 1952 vol 73 pp. 251-261.
- [26] J. Pétard « Les méthodes d'analyse employées au Laboratoire du Centre ORSTOM de Nouméa (Nouvelle Calédonie) », Notes tech., Lab. Commun Anal. 1991 vol. 4, 24p.
- [27] A. Duboisset, « L'importance agricole des termitières épigées dans le nord du Cameroun : l'exemple des nids de *Macrotermes subhyalinus* et *Dodontotermes magdalenae* ». Thèse en Sciences et techniques de l'environnement. Paris Université de Paris-Val-de-Marne, 2003, 479p.
- [28] P. Jouquet, S. Traoré, C. Choosai, C. Hartmann and D. Bignell, "Influence of termites on ecosystem functioning. Ecosystem services provided by termites". *European Journal of Soil Biology*, 2011 vol. 47 n° 4, pp. 215-222.
- [29] T.G. Wood, R.A. Johnson and J.M. Anderson, "Modification of soils in Nigerian savanna by soil feeding Cubitermes (Isoptera, Termitidae)". *Soil Biol. and Bioch.*, 1983 vol 15 pp. 575-579.
- [30] Y. Tano, « Les termitières épigées d'un bassin versant en savane soudanienne : répartition et dynamique des nids, rôle sur les sols et la végétation ». Thèse d'Etat ès Sciences, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 1993, 250 p.
- [31] D. Baize, « Guide des analyses en pédologie: choix, expression, présentation, interprétation » 2e éd, *INRA-paris* 2000, 255 p.
- [32] E. Dinon et A. Gerstmans, « L'Influence du pH sur l'assimilation des éléments nutritifs du sol par les plantes et sur la variété des plantes » Université de Liège. Printemps des Sciences, 2008, 4p. www2.ulg.ac.be/sciences/printemps/pedagogique/ll51.pdf. Accédé le 15 décembre 2017.
- [33] S. Zingore, L. Wairegi et K. M. Ndiaye, « Guide pour la gestion des systèmes de culture de riz ». Consortium Africain pour la Santé des Sols, Nairobi, 2014, 60p.
- [34] T. Drouet: Pédologie. BING-F- 302, 2010, 137p
- [35] C.A. Elaloui, « Fertilisation Minérale des Cultures: les éléments fertilisants majeurs (Azote, Potassium, Phosphore) ». Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, 2007, n° 155, 4p.
- [36] M. Jacquot et B. Courtois, « Le riz pluvial, Le technicien d'agriculture tropicale ». Edition : *Maisonnette Larose*, Paris, 1983, 134p
- [37] G. R. Guéi, K. A. Sanni, F. S. Abamu and I. Fawolé, « Genetic diversity of rice (*Oryza sativa* L). landraces from Côte d'Ivoire », *Agronomie Africaine*, 2005, vol 5 pp. 17 – 28
- [38] B. Koné, J.B. Ettien, G. Amadji et S. Diatta: « Caractérisation de la tolérance de NERICA à la sécheresse de mi-saison en riziculture pluviale ». *African Crop Science Journal*, 2008 vol 16 n° 2, pp. 133-145.
- [39] La fertilisation minérale du riz. Memento Technique de Riziculture, M. Lacharme, 2001, 17p
- [40] Guide d'identification des contraintes de terrain à la reproduction du riz. Commission internationale du riz, FAO, Rome, R.C. Chaudhary, J.S. Nanda et D.V. Tran, 2003, 79 p
- [41] M. Dicko « Analyse du fonctionnement d'une parcelle de riz irrigué sur sol alcalin. Application à la gestion intégrée de la fertilisation azotée et du calendrier cultural dans le delta intérieur du fleuve Niger (Niger) ». Thèse de Doctorat de l'ENSAM. Mali. 2005, 153 p
- [42] Guide pratique de la culture des NERICA de plateau, ADRAO, I Akintayo., B. Cissé et L.D. Zadjj, 2008, 29p.

- [43] R. Lafitte, "Relationship between leaf relative water content during reproductive", 2002.
- [44] D. Soro, D. Dao, R. J. Carsky, R. Asiedu, A. Assa et O. Girardin, « Amélioration de la production de l'igname à travers la fertilisation minérale en zone de savane de Côte d'Ivoire », *Agronomie Africaine*, 2001, vol 1, Numéro spécial, pp 9 - 14.
- [45] W.F. Hillebrand, G.E.F. Lundell, H.A. Bright and, J.I. Hoffman, "Applied inorganic analysis", 2nd ed. John Wiled and Sons, Inc., New York, USA, 1953, 1034 p.



Soro Dogniméton was born in Fangassokaha (Sinématiali, Côte d'Ivoire). After primary and grammar school in the north, he reached University where he studied natural sciences. After the Master in Plant and environment protection, he got the DEA and the doctorat at Cocody university.

He studied soil sciences in relation with crops productivity and had several fellowship experiences in Ivory coast and Nigeria. He is actually, lecturer at Jean Lorougnon Guede University where he teaches soil sciences and have research activities on soil fertility and productivity. Dr Dogniméton is member of the Ivoirian Soil Science Association.

RÉSUMÉ

Le rôle des termites dans la fourniture des services écosystémiques au niveau des agrosystèmes est peu étudié en Côte d'Ivoire. La présente étude, réalisée à Daloa en Côte d'Ivoire s'est proposée de contribuer à l'amélioration de la productivité du riz pluvial par la digestion des résidus agricoles par les termites en semi-captivité. Pour ce faire, trois activités ont été réalisées : la première a consisté à caractériser le "Termisol" et identifier les termites impliqués dans sa production ; la deuxième à évaluer la capacité fertilisante du "Termisol" en culture de riz pluvial et la troisième à déterminer l'arrière effet du "Termisol" sur le sol. Ainsi, des résidus agricoles ont été soumis à la digestion des termites qui ont été échantillonnés et identifiés. Un sol sableux a ensuite été amendé avec différentes doses de "Termisol" selon un dispositif en blocs complètement randomisés et les paramètres agronomiques du riz ont été collectés et enfin des échantillons de "Termisol" et de sol avant et après culture ont été analysés. Les résultats ont montré que le "Termisol" présente de bonnes propriétés physico-chimiques et les termites des genres *Ancistrotermes*, *Macrotermes*, *Odontotermes*, *Pseudacanthotermes* et *Trinervitermes* sont impliqués dans sa production. Par ailleurs, les différentes doses du "Termisol" ont influencé positivement les paramètres de croissance et la productivité du riz et les rendements frais sur les deux cycles des parcelles amendées au "Termisol" ont été supérieurs au rendement en milieu paysan de la variété de riz utilisée qui est de 2,5 t.ha⁻¹. Le traitement 4% Termisol a présenté un bon arrière effet du "Termisol" sur le sol.

Au vu de ces résultats, l'utilisation du "Termisol" en amendement des sols serait une méthode envisageable pour augmenter le rendement du riz et réduire les charges de production.

Mots clés : Amendement, riz, "Termisol", Daloa, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

The role of termites in the provision of ecosystem services in agrosystems is little studied in Côte d'Ivoire. The present study, carried out in Daloa, Côte d'Ivoire, proposed to contribute to the improvement of rainfed rice productivity through the digestion of agricultural residues by termites in semi-captivity. To do this, three activities were carried out : the first was to characterize the "Termisol" and identify the termites involved in its production ; the second was to evaluate the fertilizing capacity of the "Termisol" in rainfed rice and the third was to determine the after-effect of the "Termisol" on the soil. Thus, agricultural residues were subjected to digestion by termites, which were sampled and identified. A sandy soil was then amended with different doses of "Termisol" in a completely randomized block design and agronomic parameters of the rice were collected and finally samples of "Termisol" and soil before and after cultivation were analyzed. The results showed that "Termisol" has good physico-chemical properties and termites of the genera *Ancistrotermes*, *Macrotermes*, *Odontotermes*, *Pseudacanthotermes* and *Trinervitermes* are involved in its production. In addition, the different doses of "Termisol" positively influenced the growth parameters and productivity of the rice, and the fresh yields over the two cycles of the "Termisol"-treated plots were higher than the farmer's yield of the rice variety used, which is 2.5 t.ha⁻¹. The 4% Termisol treatment showed a good soil after-effect of "Termisol".

In view of these results, the use of "Termisol" as a soil amendment would be a feasible method for increasing rice yields and reducing production costs.

Key words: Soil amendment, rice, "Termisol", Daloa, Côte d'Ivoire.