

BURKINA FASO
Unité-Progrès-Justice

**MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE,
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**
(M.E.S.S.R.S)

**Institut de recherche
pour le développement**
(I.R.D)

Université polytechnique de Bobo-Dioulasso
(U.P.B.)
Institut du développement rural
(I.D.R)

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Présenté en vue de l'obtention du

DIPLÔME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

Option : Agronomie

THEME :

**Effet du zaï forestier sur l'évolution de la biodiversité et
des paramètres physiques, chimiques et biologiques du sol**

Directeur de mémoire :
Dr Hassan Bismarck NACRO

Maître de stage :
Dr Michel LEPAGE

DOAMBA Wenkouni Sabine Marie Flore

Juin 2007

Dédicace

A mes parents :

*DOAMBA Arthur et WANGRAOUA Germaine
Qui m'ont soutenue et encouragée,*

A mes frères et sœurs

A mes oncles :

Michel, Georges, et leurs femmes pour leurs soutiens divers,

Je dédie ce mémoire

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
Sigles et abréviations utilisés.....	iii
Liste des figures.....	iv
Liste des Tableaux.....	vi
Liste des photographies	vi
RESUME.....	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCTION.....	1
1.1. Problématique	1
1.2. Hypothèses de travail.....	4
CHAPITRE I: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	5
1.1. Pratiques de réhabilitation	5
1.1.1. Procédés biologiques.....	5
1.1.1.1. Paillage (ou mulching)	5
1.1.1.2. Mise en défens.....	6
1.1.1.3. Haie vive	6
1.1.2. Procédés physiques	6
1.1.2.1. Cordons pierreux	7
1.1.2.2. Diguettes antiérosives	7
1.1.2.3. Demi-lunes.	7
1.1.2.4. Zaï.....	8
1.1.2.4.1. Zaï agricole.....	8
1.1.2.4.2. Zaï forestier.....	9
1.1.2.4.3. Avantages et inconvénients du zaï.....	10
1.2. Biodiversité.....	10
1.2.1 Définition	11

1.2.2. Politique nationale en matière de biodiversité.....	11
1.3. Biodiversité des sols.....	13
1.3.1. Les principaux groupes des organismes du sol et leur rôle dans les écosystèmes.....	13
1.3.2. La macrofaune du sol.....	15
1.3.2.1. Actions mécaniques (rôle physique).....	15
1.3.2.2. Rôle chimique.....	17
1.3.2.3. Rôle biologique.....	17
1.3.3. Rôle particulier des termites.....	18
1.3.3.1. Classification.....	18
1.3.3.2. Rôle écologique des termites.....	21
1.3.4. Rôle des microorganismes du sol.....	23
1.4. Relations entre la biodiversité épigée et hypogée.....	24
1.5. Discussion sur l'étude bibliographique.....	25
CHAPITRE II: MATERIEL ET METHODES.....	26
2.1. Présentation de la zone d'étude.....	26
2.1.1. Situation géographique.....	26
2.1.2. Climat.....	26
2.1.3 Reliefs et Sols.....	29
2.1.4 Végétation.....	29
2.1.5 Populations et activités.....	30
2.2 Site d'étude.....	31
2.3 Approche méthodologique.....	31
2.3.1. Matériels.....	32
2.3.1. Matériels.....	33
2.3.2. Etude de la végétation.....	33
2.3.2.1 Relevé des espèces herbacées et mesure de leur biomasse.....	33
2.3.2.2. Relevé des espèces ligneuses.....	34

2.3.3. Etude de la macrofaune du sol.....	36
2.3.4. Etude du sol.....	36
2.3.4.1 Etude morphologique des sols par une approche toposéquentielle.....	36
2.3.4.2. Analyse des sols.....	37
2.3.5. Etude du compartiment microbien.....	40
2.3.5.1 Mesure du potentiel de respiration du sol.....	40
2.3.5.2 Biomasse microbienne.....	41
2.3.6 Traitement des données.....	42
CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSION.....	44
3.1 Etude de la végétation.....	44
3.1.1. Espèces et diversité.....	44
3.1.1.1 Composition floristique.....	44
3.1.1.2 Fréquence des espèces.....	45
3.1.1.3. Richesse spécifique.....	50
3.1.1.4. Evolution de la richesse spécifique selon les âges.....	51
3.1.1.5 Biomasse herbacée et taux de recouvrement.....	52
3.1.1.6 Evolution des surfaces basales.....	53
3.1.1.7. Evolution de la litière.....	53
3.1.2. Discussion sur l'étude de la végétation.....	55
3.1.2.1 Diversité floristique.....	55
3.1.2.2. Evolution de la diversité spécifique de la densité ligneuse selon l'âge de la jachère.....	55
3.1.2.3. Interaction arbres/herbes.....	56
3.2. Etude de l'activité de la macrofaune du sol (termites).....	57
3.2.1. Poids des placages à la surface du sol.....	57
3.2.2. Relevé des sorties de récolte.....	58
3.2.3. Discussion sur l'impact des termites sur le sol.....	58
3.3. Etude.....	60

3.3.1. Les sols du site d'étude	60
3.3.2. Caractéristique physico- chimique des sols du site	62
3.3.2.1 Analyse granulométrique des échantillons du sol (0-5 cm et 5-10 cm)	62
3.3.2.1.1. Charge graveleuse selon les âges du zaï.....	62
3.3.2.1.2. Charge graveleuse selon les transects échantillonnés	62
3.3.2.1.3. Variation de la texture des sols (granulométrie cinq fractions).....	65
3.3.2.1.4. Comparaison de la teneur en éléments fins	68
3.3.2.2. Analyses granulométriques des structures biogéniques de termites	69
3.3.2.3. Analyses chimiques des sols.....	70
3.3.2.4. Analyses chimiques des structures biogéniques de termites	72
3.3.3. Discussion sur les paramètres physico-chimiques mesurés	73
3.4. Etude du compartiment microbien	76
3.4.1. Métabolisme des populations microbiennes	76
3.4.1.1. Potentiel respiratoire du sol selon les parcelles de zaï	76
3.4.1.2 Potentiel respiratoire des structures biogéniques de termites	77
3.4.2. Quantification de la biomasse microbienne	78
3.4.2.1. Biomasse microbienne totale	78
3.4.2.2. Quotient métabolique	80
3.4.3. Discussion sur les paramètres microbiologiques.....	81
3.5. Analyse en composantes principales des paramètres mesurés	82
3.5.1. Corrélations entre les variables.....	83
3.5.2. Représentation des variables selon les axes	88
3.5.3 Projection des individus selon les axes principaux.....	90
DISCUSSION	92
CONCLUSION.....	95
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	99

ANNEXE 1 Prélèvement de la biomasse herbacée et ramassage de la litière (carrés 0,5 × 0,5 m)	1
ANNEXE 2. Dosage de la biomasse microbienne	2
ANNEXE 3. Description pédologique de la fosse N° G5 (Transect Nord dans le zaï 24 ans)	4
ANNEXE 4: Description pédologique de la fosse N° G8 (Transect Nord dans le Zaï 14 ans)	7
ANNEXE 5: Description pédologique de la fosse N° G11 (Transect Sud dans le Zaï 24 ans)	10
ANNEXE 6 Description pédologique de la fosse N° G18 (du Transect Ouest dans le zaï 30 ans	12

REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche a été réalisé au sein de l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) à Ouagadougou et au laboratoire d'Ecologie Microbienne des Sols et Agrosystèmes Tropicaux (LEMSAT) de L'IRD de Dakar. Sa réalisation a été possible grâce au soutien multiforme de plusieurs personnes. Nous voudrions leur exprimer ici toute notre gratitude.

Nos sincères remerciements s'adressent particulièrement à :

Notre maître de stage, Docteur Michel LEPAGE, Directeur de recherche au Centre National de Recherche Scientifique (CNRS), en poste d'accueil à l'IRD de Ouagadougou, pour son accueil, sa disponibilité et son encadrement malgré ses charges diverses. Sachez combien, nous vous sommes reconnaissantes pour la confiance que vous nous avez accordée, pour la rigueur scientifique que vous avez manifestée tout au long de cette étude ;

Docteur Hassan Bismarck NACRO, Directeur adjoint de l'IDR (Institut de Développement Rural), notre Directeur de mémoire, pour avoir suivi ce travail avec attention. Toujours disponible, ses critiques objectives et suggestions ont été d'un grand apport dans ce travail ;

Docteur Edmond HIEN enseignant à l'UFR/SVT, laboratoire de Pédologie de l'Université de Ouagadougou, qui nous a fait bénéficier de ses multiples connaissances en pédologie, et aussi pour ses conseils et sa disponibilité ;

Nos remerciements s'adressent également à Monsieur Komi ASSIGBETSE, Directeur du laboratoire de l'IRD-Dakar pour son accueil chaleureux et sa sympathie ;

Nous voudrions remercier également Monsieur Saidou Nourou SALL pour nous avoir suivies tout au long de notre stage à Dakar et aussi pour sa patience, ses explications, ses précieux conseils et sa constante bonne humeur. Un grand Merci à Madame SALL pour son accueil chaleureux ;

A Monsieur Ablassé BILGO, chercheur à l'INERA Ouagadougou, en stage au LEMSAT-Dakar, pour ses conseils et les discussions constructives ;

Un grand Merci à Mlle Saran TRAORE Doctorante de l'Université de Ouagadougou, en stage à l'IRD- Ouagadougou pour son amitié, ses conseils et son encadrement ;

A Théodore KABORE, Doctorant à l'IRD- Ouagadougou pour ses conseils et les échanges constructifs ;

Nous tenons à remercier Monsieur Passari OULLA cartographe à l'IRD, Messieurs Yacouba et Paul Ouédraogo pour la réalisation de la carte topographique ;

Au personnel du laboratoire Seq-Bio de l'IRD-Ouagadougou en particulier Messieurs, Moussa BARRY, Sadaré Prosper SAWADOGO, Sékou SY, Sibiri SIRY pour leur amitié et leur franche collaboration ;

A Monsieur Idrissa ZAN, technicien à l'IRD-Ouagadougou pour son aide précieuse, ses connaissances botaniques, son sens de l'humour ;

Nos remerciements s'adressent aussi à Monsieur Yacouba SAWADOGO, pour nous avoir permis de travailler sur ses parcelles de zaï, et à toute sa famille pour leur accueil fraternel. Nous remercions spécialement Ali et Boukary SAWADOGO pour leur aide ;

Au personnel du laboratoire LEMSAT-Dakar, en particulier, TIDIANE, SANE, LAMINE, TRAORE, pour leur aide, leur amitié ;

A l'Association BENEBNOMA, en particulier Monsieur Koudbi KOALA, Madame Blandine KY, Béatrice NORMAND, nous exprimons notre profonde gratitude pour leurs soutiens multiformes durant nos années académiques ;

A mes camarades de promotion et amis, Boundia THIOMBIANO, Armel ZONGO, Mathieu YAMEOGO, Zénabou SEMDE, Mariame SOMA, Adjaratou YERBANGA et mes collègues stagiaires de l'IRD Issoufou BAGGNIAN, Mahamadou KOUTOU, nous disons grand merci pour leur amitié partagée.

Qu'ils trouvent tous ici l'expression de ma plus profonde gratitude.

Sigles et abréviations utilisés

ASS : Spectrophotomètre d'Absorption Atomique

CES /DRS : Conservation des Eaux et des Sols/ Défense et Restauration des sols

CES/AGF : Conservation des Eaux et des Sols/Agroforesterie

μCPG : Micro Chromatographie en Phase Gazeuse

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PANE : Plan d'Action National pour l'Environnement

RAF : Réorganisation Agraire et Foncière

NRC : National Research Council

UICN : Union International de Conservation de la Nature

INSD : Institut National de la Statistique et de la Démographie

RGPHP : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

Liste des Figures

Figure 1. Relation entre les principaux groupes d'organismes vivants (Brussaard, 1998).....	14
Figure 2. Localisation de la zone d'étude.....	27
Figure 3. Variation de la moyenne pluviométrique du Yatenga (poste de Ouahigouya)	28
Figure 4. Pluviométrie de l'année 2006.....	28
Figure 5. Carte topographique du site d'étude.....	32
Figure 6. Dispositif expérimental pour le relevé des herbacées.....	35
Figure 7. Dispositif expérimental pour le relevé des ligneux	36
Figure 8. Répartition des effectifs des espèces ligneuses dans les différents zaï forestiers ...	48
Figure 9. Répartition des effectifs des herbacées.....	49
Figure 10. Evolution de la diversité spécifique moyenne par 9 m ² et par âge du zaï (strate ligneuse).....	51
Figure 11. Evolution de la diversité spécifique moyenne par 0,25 m ² et par âge du zaï (strate herbacée).....	52
Figure 12. Evolution de la litière totale en fonction des âges du zaï (g/m ²)	54
Figure 13. Evolution des différentes composantes de la litière selon les âges du zaï	54
Figure 14. Poids de placage relevés par parcelle de zaï.....	57
Figure 15. Nombre de sorties de récolte des termites selon les parcelles de zaï (N/ 0,25 m ²	58
Figure 16. Charge graveleuse des transects échantillonnés.....	64
Figure 17. Analyse granulométrique de l'ensemble des échantillons prélevés dans l'horizon (0-5cm).....	66
Figure 18. Analyse granulométrique de l'ensemble des échantillons prélevés dans l'horizon (5-10 cm).....	67
Figure 19. Proportion des éléments fins selon les parcelles de zaï (horizon 0-5 cm)	68
Figure 20. Proportion des éléments fins par parcelle de zaï (horizon 5-10 cm)	69
Figure 21. Paramètres chimiques des structures biogéniques de termites (termitières et placages).....	70
Figure 22. Paramètres chimiques des structures biogéniques de termites (termitières et placages).....	73
Figure 23. Quantité totale de C- CO ₂ dégagée par le sol selon les parcelles de zaï	77
Figure 24. Quantité de C- CO ₂ dégagé total selon les structures termitiques	78

Figure 25. Quantité de biomasse microbienne totale ($\mu\text{g C/g}$ de sol) par parcelle de zaï	79
Figure 26. Quantité de biomasse microbienne ($\mu\text{g C/g}$ de sol) par termitière et par placage ..	80
Figure 27. Position des descripteurs par rapport aux composantes principales F1 et F2	89
Figure 28. Position des descripteurs par rapport aux composantes principales F1 et F3	89
Figure 29. Projection des individus et des variables selon le plan F1, F2	90
Figure 30. Schéma des interactions à l'oeuvre dans la mise en place du zaï forestier.....	96

Liste des Tableaux

Tableau 1. Liste des familles et des espèces ligneuses recensées sur le site	46
Tableau 2. Liste des familles et des espèces herbacées recensées sur le site	47
Tableau 3. Résultat de l'analyse des estimateurs de richesse spécifique	50
Tableau 4. Répartition de la biomasse herbacée et du taux de recouvrement moyen par parcelle de zai	52
Tableau 5. Evolution des surfaces basales et de la densité ligneuse par hectare de parcelle de zai	53
Tableau 6. Analyse de la charge graveleuse des sols au tamis de 2 mm.....	62
Tableau 7. Teneurs en carbone total, azote total, phosphore assimilable, rapport C/ N,	71
Tableau 8. Teneurs en carbone total, azote total, phosphore assimilable, rapport C/ N,	72
Tableau 9. Quotient métabolique selon l'âge du zai et les structures termitique.....	81
Tableau 10. Coefficients de corrélation de Pearson entre les variables étudiées.....	87

Liste des photographies

Photo 1 : Termitière de <i>Macrotermes subhyalinu</i>	19
Photo 2 : Termitière de <i>Cubitermes</i> sp	20
Photo 3 : Termitière de <i>Trinervitermes</i> sp	20

RESUME

Le zaï forestier est une technique de réhabilitation des sols de plus en plus observée au Yatenga (Burkina Faso). Il permet la revégétalisation des espaces dégradés.

Les objectifs de cette étude ont consisté à caractériser les évolutions biologiques, chimiques et microbiologiques de parcelles de zaï forestier et à déterminer les facteurs qui concourent à l'installation de la diversité biologique dans un zaï forestier.

L'étude a été effectuée à Gourga, département de Oula, province du Yatenga. Pour atteindre ces objectifs quatre domaines ont été abordés :

- le sol, par des analyses physico-chimiques et microbiologiques (analyse de l'activité et de la biomasse microbienne) ;
- la végétation, en inventoriant les espèces ligneuses et herbacées par carrés d'échantillonnage selon des toposéquences ;
- la macrofaune du sol, par l'étude de l'activité des termites dans ce système zaï (placages et trous de récolte, selon le même dispositif utilisé pour la végétation et par l'analyse chimique des structures biogéniques édifiées (termitières et placages).

Les résultats révèlent une amélioration de la diversité floristique dans les parcelles de zaï. Une relation herbe-arbre de plus en plus compétitive au fil du temps de jachère. L'étude fait apparaître aussi l'impact des termites par les structures biogéniques construites (apport de matériaux fins en surface et augmentation de la porosité). Il ressort aussi que leur activité est beaucoup plus orientée vers les zaï à densité ligneuse forte, et les parcelles abritant les arbres les plus grands.

Différents facteurs inter-reliés participent à l'installation de la diversité et de l'hétérogénéité biologique du système zaï : l'âge de la parcelle, l'homme par ses actions diverses et multiformes sur son environnement, la toposéquence du milieu et le sol qui lui est relié.

Mais l'écosystème reste fragile et extrêmement sensible aux stress. Une perturbation comme le feu peut laisser des traces sur de nombreuses années.

Mots clés : Yatenga, réhabilitation des sols, zaï forestier, diversité biologique

ABSTRACT

The forested zaï is a practice of soil rehabilitation. This practice is increasingly utilized in Yatenga (Burkina Faso). The technology allows the restoration of the vegetation on degraded soils. The main objectives of this research consisted to characterize the evolution of physical, chemical, biological and microbiological parameters of fallows in order to determine the factors which influenced the implementation of the biodiversity in the forested zaï.

The study was carried out in the village of Gourga, department of Oula, Yatenga's province. In order to attain the objectives, four aspects were tackled.

- the soil, through physico-chemical and microbiological analysis (microbial activity and biomass);
- the vegetation, through the inventory of ligneous and herbaceous species in sampling squares disposed along topographical transects;
- the macrofauna, through the study of termite activity in this ecosystem (soil sheetings and foraging holes) along the same transects, and in the analysis of the biogenic structures.

The results showed an increase of the floristic richness in the different fallows of increasing ages. The study emphasized also the role of termites in the forested zaï, related to the importance of their biogenic structures (fine particles brought to the surface soil and increase of soil porosity). Termite activity was mostly correlated to areas with high tree density and with large trees.

Several interrelated parameters are operating in the implementation of the biodiversity and in the heterogeneity of the zaï ecosystem: the length of the fallow, the man work, through his care and effect on the environment, the topographical soil catena.

But this ecosystem remains precarious and very sensitive to stresses. A perturbation, as fire event, can leave its effects over many years.

Key words : Yatenga, rehabilitation of soils, forested zaï, biodiversity

I. INTRODUCTION

L'agriculture extensive qui accompagne l'accroissement rapide de la population humaine des pays en voie de développement a pour conséquence une perte importante de la biodiversité des sols et engendre des problèmes environnementaux tels que la dégradation des sols, la pollution des eaux (Abe *et al.*, 1997). Globalement, près de deux millions d'hectares de terres sont affectés par les actions anthropiques de dégradation du sol (UN, 2000). Cette dégradation entraîne une baisse de la fertilité chimique, physique et biologique des sols et une perturbation de l'équilibre des écosystèmes naturels et agricoles. Ce qui constitue une menace pour la sécurité alimentaire à moyen et à long terme.

Ce phénomène de dégradation et de perte de biodiversité est aussi observé au Burkina Faso et plus particulièrement dans sa partie Nord. Une étude de l'INERA (2000) a montré en effet qu'environ 24 % des terres arables sont fortement dégradées et que 31% de la pluviosité annuelle est perdue par ruissellement. Cette situation se traduit par une dégradation continue des terres par suite de la surexploitation du sol et de la disparition progressive du couvert végétal, entraînant la formation de glacis dénudés et dégradés appelés « zipellés » en langue moré (Roose *et al.*, 1993).

Les terres dénudées ont pris une proportion inquiétante dans le Yatenga et différentes méthodes de conservation des eaux et des sols et de défense et restauration des sols (CES/DRS), ont été proposées, principalement à partir des années 1980, pour lutter contre cette dégradation. Ces méthodes ont connu des succès mitigés, obligeant les techniciens et chercheurs à étudier et à améliorer certaines techniques traditionnelles comme le zaï. Cette technique traditionnelle de récupération des sols est une forme particulière de culture en poquets concentrant les eaux de ruissellement dans des micro- bassins (Roose *et al.*, 1993). Elle permet la récupération des fonctions du système-sol, siège des cycles biogéochimiques.

1.1. Problématique

Le fonctionnement et la stabilité des écosystèmes terrestres sont principalement déterminés par la biodiversité des plantes et la composition des espèces (Schultze and Mooney, 1993; Hooper and Vitousek, 1997). De plus, les interactions compétitives entre espèces de plantes (Aarsen, 1990; Grace and Tilman, 1990), la répartition spatiale et temporelle (Ricklefs, 1977; Tilman, 1982) et les interactions avec les autres organismes qui

constituent les écosystèmes peuvent expliquer les processus biologiques qui maintiennent et régulent la biodiversité des plantes et la composition des espèces. Dans un tel contexte, l'étude des différentes interactions entre les composantes de la biodiversité s'avère nécessaire. Elle permet en effet de mieux comprendre le fonctionnement des écosystèmes en vue de pouvoir mieux les protéger, les entretenir mais aussi mieux les exploiter. Par ailleurs, pour un développement de la technique zaï et/ou pour une reconstitution de la fertilité des sols encroûtés, il est nécessaire d'approfondir les connaissances des interactions biologiques qui se mettent en place et de mieux étudier le rôle de la diversité biologique dans le fonctionnement des écosystèmes tropicaux arides et semi-arides. De ce fait, trois aspects ont été concernés dans cette étude :

- l'aspect biologique regroupant la végétation (arbres, herbes) et la macrofaune du sol (termites) ;
- l'aspect microbiologique (étude des microorganismes du sol) ;
- l'aspect physique et chimique des sols.

Les organismes du sol comme la pédofaune (termites, vers de terre) agissent en effet sur les caractéristiques des sols, la dégradation et l'humification des litières, les caractéristiques physiques, chimiques, et les caractéristiques biochimiques et biologiques des sols. De ce fait ils occupent une position clé au sein des écosystèmes, surtout dans le cas du système zaï où ils sont les premiers acteurs de la réhabilitation des sols.

Certains de ces animaux possèdent des interactions très fortes avec les microorganismes. C'est l'exemple des termites, qui constituent un modèle d'interaction incluant des symbioses entre faune du sol, microorganismes et plantes. Ces organismes (bactéries, champignons, microflore) poursuivent le processus de dégradation de la matière organique entamée par la faune du sol. Ils jouent, de ce fait, un rôle important dans la décomposition des résidus organiques et la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes.

Bien que ces microorganismes du sol jouent un important rôle dans l'acquisition des nutriments pour les plantes, peu d'attention a été accordée aux relations entre la composition de cette communauté microbienne, les fonctions métaboliques de cette communauté et la diversité des plantes.

Des études menées dans ce domaine ont montré que la composition des communautés microbiennes était principalement déterminée par la végétation, comme la composition des espèces et la succession des plantes au cours du temps (Grayston and Campbell, 1996 ;

Westover *et al.*, 1997, Priha *et al.*, 1999 ; Grayston *et al.*, 2001) et aussi par les divers facteurs environnementaux tels que le type de sol, le statut nutritif, le pH et l'humidité (Anderson and Domsch, 1993 ; Stotzky, 1997).

La différenciation des communautés microbiennes en relation avec la végétation a été mise en évidence par l'utilisation de méthodes renvoyant à la chimie des membranes (l'analyse de l'acide phospholipide) (Borga *et al.*, 1994; Bossio *et al.*, 1998; Kourtev *et al.*, 2002) et le profil de l'ADN. D'autres méthodes ont été utilisées, parmi lesquelles la détermination de la diversité catabolique des communautés microbiennes (Biolog, 1993 ; Degens and Harris, 1997). Toutes ces investigations ont beaucoup plus porté sur l'impact du labour (Hendrix *et al.*, 1986 ; Doran, 1987), sur l'utilisation des fertilisants, des résidus organiques, et pesticides, sur la structure et les fonctions des communautés microbiennes du sol dans les conditions de culture. En revanche, très peu d'études ont concerné les fonctions de la communauté microbienne des plantes (Westover *et al.*, 1997 ; Stephan *et al.*, 2000 ; Chabrierie *et al.*, 2001) sur les sols tropicaux. De plus, les études menées sur la biodiversité se sont limitées à un stade de quantification des différentes composantes biologiques (nombre d'espèces) sans porter beaucoup attention aux relations et interactions existantes entre ces différentes composantes.

La présente étude aborde de ce fait l'hétérogénéité biologique et microbiologique créée par les pratiques de réhabilitations à travers le thème : « *évolution de la biodiversité des sols selon les pratiques de réhabilitation des sols en milieu sahélien* ».

Les travaux ont été effectués dans les parcelles de zaï d'un paysan innovateur à Gourga, province du Yatenga.

Objectifs du mémoire

L'objectif principal vise à étudier l'effet des pratiques de réhabilitation sur la diversité biologique du sol. Il s'agit de décrire et de comprendre, par cette étude, comment s'installe l'écosystème du zaï forestier, à partir des interactions entre les différents compartiments du milieu : le sol et les populations microbiennes, la végétation ligneuse et herbacée ainsi que l'action des termites. En d'autres termes, cette étude cherche à élucider les liens entre la partie épigée et la partie hypogée de l'écosystème selon l'âge du zaï (facteur temps) et selon l'hétérogénéité du milieu (facteur spatial).

Plus spécifiquement, il s'agira de :

- préciser le rôle de l'activité « termitique » sur la modification du milieu ;
- déterminer l'évolution de la dynamique de la végétation en fonction des paramètres du sol ;
- déterminer les interactions et feed-backs entre diversité biologique du sol ; dynamique de la végétation et activité termitique ;
- établir une relation entre la pratique de réhabilitation et la diversité biologique du milieu.

1.2. Hypothèses de travail

Les hypothèses à tester à partir des observations sont :

- (i) la diversité biologique varie en fonction de la pratique de réhabilitation et sa durée de mise en œuvre ;
- (ii) la diversité épigée évolue en fonction de la diversité souterraine ;
- (iii) l'hétérogénéité de l'écosystème, à différentes échelles, constitue le moteur principal de la productivité végétale de ces sols réhabilités.

Notre travail s'articule selon trois chapitres. Le premier chapitre effectue une revue de la littérature sur les techniques de conservation des eaux et sols et une définition claire du terme biodiversité. Le deuxième chapitre s'intéresse aux matériels et méthodes de l'étude. Enfin, le dernier chapitre présente les résultats et leur analyse et discute des principales données obtenues.

CHAPITRE I: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Face à la dégradation des sols, des techniques de gestion et de conservation de l'eau et des sols ont été développées dans les pays du Sahel. Les populations rurales, avec l'aide des ONG et des organismes de développement, ont développé des pratiques de récupération des sols. Ces pratiques ont rendu possible la production agricole et ont même engendré, au fil du temps, la régénération d'espèces ligneuses et herbacées sur ces sols.

Dans ce chapitre, nous abordons dans une première section les différentes pratiques de réhabilitation les plus utilisées, avant de mettre l'accent sur le rôle de la diversité biologique et de l'hétérogénéité engendrées par ces pratiques de réhabilitation.

1.1. Pratiques de réhabilitation

Réhabiliter un sol consiste à mettre en œuvre un ensemble de processus qui conduit à l'arrêt de la dégradation et à la réparation des fonctions de ce sol qui avaient été détruites ou amoindries par les processus de dégradation (Floret et Pontanier, 2001). Bien qu'il soit difficile de les séparer à cause de leurs critères emboîtés, nous pouvons regrouper ces pratiques selon des procédés biologiques et des ouvrages antiérosifs.

1.1.1. Procédés biologiques

Selon Delaite et Pastor (1997), les méthodes biologiques consistent à assurer une couverture maximale du sol, aussi bien dans l'espace que dans le temps.

Les plantes assurent une fixation du sol par les racines, le protègent contre la force de pluies et constituent un obstacle au ruissellement des eaux de pluies. De plus elles contribuent à rétablir, à maintenir ou à améliorer le niveau de fertilité des sols.

1.1.1.1. Paillage (ou mulching)

Le paillage est l'épandage à la surface du sol de débris végétaux tels que les résidus de culture, paille, tiges ou branchages divers. Il protège le sol contre l'impact des gouttes de pluie et diminue le ruissellement. En outre, il favorise l'activité des termites qui incorporent dans le sol la matière organique décomposée et creusent des galeries qui améliorent la perméabilité du sol (Delaite et Pastor, 1997).

Selon ces mêmes auteurs l'épandage de six tonnes de résidus par hectare permet de réduire le ruissellement de 90%. Cette technique de paillage doit être accompagnée par une mise en défens qui va permettre une croissance plus rapide des nouvelles pousses.

1.1.1.2. Mise en défens

La mise en défens est une technique qui consiste à protéger pendant plusieurs années une zone en y interdisant toute exploitation qui contribue à sa dégradation, qu'elle soit agricole, pastorale ou forestière. C'est une méthode de régénération naturelle techniquement très simple et peu coûteuse, mais elle est très complexe à mettre en œuvre, car sa réussite implique une acceptation et une participation active de tous les exploitants (agriculteurs et éleveur) (Delaite et Pastor, 1997).

Elle est fondée sur le principe selon lequel, la cause de la dégradation d'un sol étant supprimée, le sol est en mesure de recouvrir par lui-même ses qualités après une période de temps (Mando *et al.*, 2000).

Une mise en défens correspond à une jachère qui est protégée contre les feux, la coupe du bois ou le pâturage. Elle permet de ce fait une régénération des espèces et une amélioration de la diversité floristique.

1.1.1.3. Haie vive

La haie vive est une mesure de CES/DRS qui consiste en un alignement d'arbres ou d'arbustes. Elle joue un rôle défensif contre les animaux et aussi de protection antiérosive (éolienne et hydrique). Elle produit du fourrage et du bois de chauffe.

Ce procédé biologique a montré certes son efficacité mais il doit toujours être associé à d'autres pratiques, comme les ouvrages antiérosifs, pour donner des résultats beaucoup plus satisfaisants et plus pérennes.

1.1.2. Procédés physiques

Ce sont des mesures physiques ou mécaniques de lutte contre l'érosion hydrique. L'objectif de ces mesures est de créer des obstacles au ruissellement et d'augmenter la rétention de l'eau dans le sol.

1.1.2.1. Cordons pierreux

Les cordons pierreux sont des alignements judicieux de pierres disposées en une ou plusieurs rangées selon les courbes de niveau. La distance entre deux cordons pierreux est compris entre 10 à 15 m. Les cordons pierreux sont des ouvrages adaptés à des terres de très faible pente. Ils ralentissent le ruissellement et favorisent l'infiltration de l'eau d'une façon homogène sur tout le champ (en amont et en aval) ; il s'ensuit une amélioration des rendements (de 20 à 80% selon les régions et les années) (Delaite et Pastor, 1997). Cependant l'inconvénient fondamental reste l'appropriation et le transport des pierres.

1.1.2.2. Diguettes antiérosives

Ce sont les diguettes en terre et les digues filtrantes.

- les diguettes en terre sont des ouvrages qui sont construits entièrement en terre (diguette classique), soit renforcés par des pierres (diguettes empierrées), soit équipées de petits radiers (déversoirs).
- les diguettes filtrantes en pierres sont des ouvrages construits en pierres sèches le long des courbes de niveau.

Ces diguettes diminuent la longueur de la pente du terrain, afin que les eaux de ruissellement ne puissent pas atteindre une vitesse érosive et provoquer l'érosion en nappe.

1.1.2.3. Demi-lunes.

Ce sont des ouvrages en terre en forme de demi-lune ou de croissant, installés sur des terres dégradées. Les demi-lunes ont généralement un diamètre variant de 4 à 5 m, 12 à 30 cm de profondeur, 2 à 4 m d'écartement sur la courbe de niveau et 4 à 8 m entre deux courbes de niveau. Il faut noter que les dimensions et la répartition de ces demi-lunes varient d'une région à l'autre en fonction de la nature du terrain.

Selon Rochette (1989), la technique aurait été introduite au Burkina Faso à la faveur d'un voyage d'étude de membres du projet CES/AGF en 1995 au Niger, où la technique a connu ses débuts dans la région de Tahou.

Le rapport du projet LCD 083 (2003) définit la demi-lune comme une cuvette en forme de demi-cercle, ouverte à la pioche. La terre de déblais est disposée en un bourrelet semi-circulaire au sommet aplati comme une banquette de terre. Ce dispositif permet de

collecter les eaux de ruissellement et est ainsi bien adapté aux zones semi-arides et arides.

L'apport de fumure organique dans les excavations permet d'augmenter la production agricole. Les demi-lunes conviennent à la fois pour la production agricole, fourragère et ligneuse (Delaite et Pastor, 1997).

1.1.2.4. Zaï

La pratique du zaï est observée sur les terres complètement dégradées, dans le Nord du Burkina Faso. C'est une méthode traditionnelle complexe permettant la récupération des sols dégradés, qui allie la capture du ruissellement et la localisation de la fumure et de l'eau disponible dans des cuvettes (avec l'action des termites) (Roose, 1989).

Le zaï en langue moré vient du mot « zaïegré » qui signifie « se hâter pour préparer sa terre ». Il correspond à un ensemble de pratiques car il se présente toujours avec les cordons pierreux.

Le principe consiste à creuser, en saison sèche, des cuvettes de 20 à 40 cm de diamètre et de 10 à 15 cm de profondeur tous les 80-100cm, et à rejeter la terre excavée vers l'aval du creux pour capter les eaux de ruissellement. On y ajoute une à deux poignées de fumure organique (Delaite et Pastor, 1997). Toutefois, Kaboré (2005) montre qu'il existe une diversité de cette pratique selon le type d'exploitation, la période de confection des cuvettes de semis, etc.

La pédofaune, constituée majoritairement de termites (*Macrotermitinae*), attirée par le compost (fumier de bovins et litière) colonise le poquet, creuse des galeries et tunnels, perce la surface du sol et permettent aux premières pluies de s'infiltrer en profondeur (Roose *et al.*, 1976 ; Roose, 1989). Ces poquets piègent aussi le sable, les terreaux, la matière organique apportée par le vent et les eaux de ruissellement des pluies.

Il existe deux types de zaï selon l'évolution du système dans le temps :

- le zaï agricole où le sol est continuellement cultivé ;
- le zaï forestier, où le sol après 4-5 années de culture est mis en jachère.

1.1.2.4.1. Zaï agricole

Le zaï agricole est une pratique essentiellement tournée vers la production agricole sur des zones incultes (zipellés). Néanmoins, quelques arbres peuvent apparaître et être épargnés et protégés, mais à une densité faible, pour que le terrain puisse garder sa vocation de

production de céréales. Ce type de zaï est le plus évoqué par de nombreux auteurs (Roose *et al.*, 1993 ; Dakio, 2000 ; Sangaré, 2002 ; Somé *et al.*, 2004 ; Zougmore *et al.*, 2005).

Le zaï agricole démontre en effet que la production de céréales sur les terres dénudées est possible et donne des rendements satisfaisants. En témoigne les travaux de Roose *et al.*, (1995), où les rendements passent de 0,2 t/ha de grain de céréales sur la parcelle témoin à 1-1,7 t/ha sur la parcelle aménagée en zaï.

En outre, Zougmore *et al.* (2005) ont montré que l'addition dans une cuvette de compost ou de fumier à la dose de 300g par cuvette, permet d'obtenir un rendement huit fois plus important que sans apport de fumure (800kg/ha de grains de sorgho). Somé *et al.* (2004), étudiant les effets du zaï sur la culture du niébé, donnent les résultats semblables : le zaï sur la culture du niébé produit 200kg/ha de niébé et 1 200kg/ha de fanes, tandis que la production du témoin est nulle. L'apport d'engrais (azote phosphore, potassium), dosé à 80 kg/ha, ou son association au compost, a permis d'atteindre 900kg/ha de sorgho sur un zipellé de type gravillonnaire, contre 690kg/ha avec le compost uniquement. La mise en jachère des champs soumis à cette gestion de zaï agricole permet une installation progressive de la végétation (herbes, ligneux) et, par conséquent, aboutit à un autre type de gestion qui est le zaï forestier.

1.1.2.4.2. Zaï forestier

Le zaï forestier est une technologie endogène de récupération des espèces ligneuses à partir de la technique de récupération agricole des zipellés (Koutou, 2006). Elle est née du fait de la remarque pertinente de certains paysans qui, voyant souvent pousser certaines essences ligneuses dans les poquets de zaï, les ont protégées contre les animaux. En effet, la matière organique apportée par le vent et le fumier contient des graines de diverses espèces arborées prêtes à germer après le passage dans le tube digestif des ruminants (Roose *et al.*, 1993 ; Delaite et Pastor, 1997). Les conditions du zaï donnent un environnement favorable à la régénération de certaines essences forestières.

Le principe consiste à laisser pousser et à entretenir dans une cuvette sur trois les plantules des arbres parmi la culture au moment du désherbage (Delaite et Pastor, 1997). A la récolte, les tiges sont cassées à un mètre de hauteur de manière à protéger la jeune plantule de l'érosion éolienne et de la vue du bétail. Au bout de quelques années (5 ans) on peut reconstituer un couvert forestier dont les arbustes sont taillés en taillis ou perches (premières récoltes de bois de feu.

La technologie du zaï possède des avantages et des inconvénients.

1.1.2.4.3. Avantages et inconvénients du zaï

Le zaï a rendu possible la culture sur les terres dégradées parce qu'il permet la gestion du ruissellement, la conservation du fumier et des semences, la concentration des éléments fertilisants et de l'eau dans les cuvettes, à proximité immédiate des plantes, surtout au début et à la fin de la saison des pluies (Roose *et al.*, 1993). Par ailleurs le regain des activités biologiques permet d'améliorer les propriétés du sol et de créer un milieu favorable au développement des cultures. Ainsi, à travers cette pratique de réhabilitation, des superficies incultes peuvent être récupérées et l'exploitation rendue possible. Aussi la pression, sur les terres et sur les ressources naturelles peut être ainsi réduite.

Cependant le zaï, malgré ses nombreux avantages, ne peut pas résoudre toutes les contraintes à la production agricole dans le Sahel :

- tout d'abord, cette technologie est valable à l'intérieur d'une zone d'application bien définie : la zone soudano sahélienne, avec une pluviosité comprise entre 300 et 800mm ;
- ensuite, les trous devant être creusés durant la saison sèche, la pénibilité et la durée du travail restent non négligeables. Selon Roose *et al.*, (1995), le zaï exige 300 heures de travail à la pioche, soit environ 3 mois de travail pour un homme, pour restaurer 1 hectare ;
- les disponibilités en fumier, en eau, en main d'œuvre et en moyens de transport, sont également des facteurs incontournables dans la pratique du zaï ;
- enfin le zaï demande pour réussir, une mise en place dans les champs de cordons pierreux afin de maîtriser le ruissellement et de conserver sur place les matières organiques.

1.2. Biodiversité

Le terme biodiversité a été utilisé pour la première fois par l'entomologiste Wilson en 1986, lors de la publication du premier forum Américain sur la biodiversité organisé par le National Research Council (NRC). Le mot biodiversité lui a été suggéré par le NRC, en remplacement de diversité biologique, jugé moins efficace en termes de communication. De nos jours, ce terme et le concept sont utilisés par les biologistes, les écologistes et les citoyens. L'utilisation de ce terme coïncide avec la prise de conscience de l'extinction d'espèces au cours des dernières décennies du 20^{ème} siècle.

1.2.1 Définition

En 1988, l'assemblée générale de l'Union internationale de conservation de la nature (UICN) réunie au Costa Rica adopte la définition suivante : « la diversité biologique ou biodiversité est la variété et la variabilité de tous les organismes vivants ». Ceci inclut la variabilité génétique à l'intérieur des espèces et de leurs formes de vie, la diversité des complexes d'espèces associées et de leurs interactions et celles des processus écologiques qu'ils influencent ou dont ils sont les acteurs dite [diversité écosystémique]. Elle concerne la diversité des espèces vivantes et leurs caractéristiques génétiques et se manifeste, soit au niveau de l'ensemble des espèces [biodiversité spécifique], des individus et des populations de chaque espèce [biodiversité génétique], ou des écosystèmes, [biodiversité structurale].

La convention sur la diversité biologique (1992), quant à elle, définit la diversité biologique en son article 2 comme étant la variabilité des organismes vivants de toute origine, y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces ainsi que celle des écosystèmes. En résumé la biodiversité désigne la variété et la diversité du monde vivant et dans un sens plus large ce mot est synonyme « de vie sur terre ».

Comme précédemment évoqué, il existe trois niveaux de la biodiversité :

- diversité génétique ;
- diversité spécifique ;
- diversité écosystémique.

Par ailleurs, on peut noter aussi plusieurs définitions de la biodiversité en fonction de la discipline pratiquée. Ainsi pour les généticiens, la biodiversité est la diversité des gènes et des organismes.

Les biologistes, quant à eux, définissent la biodiversité comme étant la diversité des organismes et des espèces mais aussi la façon dont les organismes fonctionnent. Enfin les écologistes voient en la biodiversité, la diversité des interactions durables entre espèces mais aussi par rapport à leur environnement immédiat (biotope) et à l'éco-région colonisée.

1.2.2. Politique nationale en matière de biodiversité

Le rapport de la conférence internationale « Biodiversité : science et gouvernance » en Janvier 2005, conclut en ces termes : « la biodiversité doit être préservée car elle constitue un patrimoine et une ressource à plusieurs titres :

- valeur patrimoniale** : la biodiversité est un héritage de l'histoire de notre planète, de l'évolution du monde vivant et souvent de l'intervention de nos ancêtres ;
- valeur écologique** : elle est la condition du maintien des écosystèmes et des services qu'ils nous fournissent : fertilité des sols, purification de l'eau, maintien des équilibres gazeux, régulation du climat ;
- valeur économique** : la biodiversité est une source de richesses. Elle fournit à l'espèce humaine son alimentation, une grande partie de ses vêtements et de ses habitations, de nombreuses substances pharmaceutiques et l'attrait de nombreux sites touristiques ;
- valeur potentielle** : elle présente une multitude de potentialités non exploitées, soit parce qu'elles sont inconnues, soit parce qu'elles ne correspondent pas à un besoin actuel ».

Le Burkina Faso a ratifié la convention sur la diversité biologique le 2 septembre 1993. La conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED) fut créée, avec comme mission essentielle de promouvoir l'intégration des principes fondamentaux de préservation de l'environnement dans le processus de développement.

L'état actuel de la diversité biologique du pays est marqué par la pression destructrice de l'homme et des animaux, qui se traduit principalement par les feux de brousse, la culture itinérante, la pression démographique, le surpâturage et la surexploitation des ressources biologiques. A ces facteurs anthropiques s'ajoute l'effet des périodes de sécheresse qui se manifestent depuis 1970. Les mesures prises pour la conservation de la diversité biologique s'articulent autour de la réglementation, la programmation, la planification, et l'exécution d'actions de développement. Les principaux éléments de ces mesures sont :

- le programme d'ajustement structurel et ses composantes sectorielles ;
- le plan d'action national pour l'environnement (PANE) ;
- le plan stratégique de la recherche scientifique et technologique ;
- la Réorganisation Agraire et Foncière (RAF) ;
- le code de l'environnement ;
- le code forestier ;
- le code de l'eau ;
- le code minier ;
- les projets de développement ;
- les projets de développement intégré.

Par ailleurs il faut noter que la diversité biologique concerne aussi la partie souterraine ou hypogée. Elle comprend différents organismes vivants, jouant un rôle important dans les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol, qui conditionnent donc le fonctionnement de tout l'écosystème.

1.3. Biodiversité des sols

Le sol est un milieu vivant, qui peut recéler une diversité surpassant celle des espèces vivantes constatée au dessus du sol.

Cette biodiversité reflète la variabilité des organismes vivants, ce qui inclut les micro-organismes (bactéries et champignons), la microfaune (protozoaires et nématodes), la mésofaune (acariens et collemboles) et la macrofaune (vers de terre et termites). Ces êtres vivants (faune, microorganismes, racines de plantes) améliorent la structure du sol, enrichissent la biomasse et parfois permettent la fixation d'azote atmosphérique par les plantes (Zombré, 2006). De ce fait, ces organismes peuvent être étudiés et considérés à la fois comme indicateurs et comme acteurs de la qualité des sols et de leurs aptitudes à supporter la production végétale dans une perspective de développement durable.

1.3.1. Les principaux groupes des organismes du sol et leur rôle dans les écosystèmes

Différentes classifications des organismes du sol ont été proposées, parmi lesquelles la classification de Brussaard (1998). Celui-ci propose une classification fonctionnelle des organismes du sol selon leur impact sur l'écosystème. Ainsi, selon ce concept, quatre groupes fonctionnels peuvent être distingués :

-les micro-organismes rhizosphériques :

Le sol subit de profondes modifications physiques et chimiques au contact des systèmes racinaires des plantes supérieures et de leur cortège de micro-organismes. Ces derniers, associés aux systèmes racinaires profondément influencés par la plante (exsudats, symbioses) jouent un rôle fondamental dans l'altération des minéraux, la fixation de l'azote atmosphérique, et de façon générale dans la nutrition des plantes.

Ce groupe comprend les mycorhizes, les bactéries fixatrices d'azote atmosphérique, les champignons pathogènes des plantes, les nématodes parasites.

La **Figure 1** ci-dessus montre l'effet des plantes sur les propriétés physico-chimiques du sol par leur approvisionnement en matière organique (litière, dépôts de racines mortes). En retour, l'amélioration des propriétés physiques et chimiques du sol crée un environnement favorable au développement des plantes. En outre, nous pouvons aussi observer un effet des plantes au niveau de la rhizosphère. Par ses racines, qui sont une source de carbone, la plante est la force motrice du développement de la rhizosphère et de son maintien. En effet, différents éléments nutritifs sont rendus disponibles pour la microflore : des sucres, des acides aminés, des acides organiques, à la fois par les racines mais aussi par l'interaction entre les racines, le sol et les microorganismes, ce qui contribue à la formation des agrégats du sol (Hairiah *et al.*, 2001). Les microorganismes jouent un rôle prépondérant dans les processus de transformation de la matière organique, notamment dans la minéralisation de l'azote indispensable au développement des plantes.

Ces microorganismes ne sont pas les seuls à dégrader la matière organique : il y a aussi les organismes dits décomposeurs et ingénieurs du sol (termites).

Par ailleurs, les micro-prédateurs de très petite taille ont peu d'impact physique sur le sol mais ils interagissent avec la microflore, en exerçant une pression de consommation. Ils jouent un rôle de régulation des populations des décomposeurs et des organismes de la rhizosphère. Pour relater ces faits, Lavelle, cité par Deprince (2003) affirme que lorsqu'un organisme devient nuisible, c'est souvent parce qu'une bonne partie de la biodiversité a chuté.

L'action de ces organismes du sol, régulée par les apports des plantes, influence les caractéristiques physico-chimiques du sol. Par conséquent ces organismes jouent un rôle dans la structuration du sol, dans la formation d'agrégats organo-minéraux stables et enfin dans le développement et la croissance des plantes.

1.3.2. La macrofaune du sol

La faune du sol représente l'ensemble des animaux qui passent une partie importante de leur cycle biologique dans le sol (Gobat *et al.*, (1998).

Par leur déplacement, leur alimentation et leurs excréments, les animaux du sol ont un impact direct ou indirect sur leur habitat (Gobat *et al.*, 1998). Les actions de cette faune peuvent être mécaniques, chimiques ou biologiques.

1.3.2.1. Actions mécaniques (rôle physique)

Cinq effets mécaniques majeurs de la faune du sol ont été mis en évidence :

- **macrobrassage**

Les fourmis, les vers de terre, les scarabées et certains mammifères (taupes, rongeurs) remuent de grandes quantités de terre, ramenant en surface les horizons riches en matières minérales et enfouissant les horizons organiques superficiels, les litières et le fumier ;

- **microbrassage**

D'autres macro-invertébrés, ainsi que la mésofaune, influencent la structure du sol d'une manière moins spectaculaire que les macro-invertébrés, mais tout aussi nécessaire. Ils exercent une activité indispensable à l'intégration des matières organiques : la fabrication de quantités énormes de petites crottes. Ces organismes **phytosaprophages** (larves de diptères, collemboles) incorporent sous cette forme la matière organique au sol ;

- **formation de galeries**

Les galeries ont un rôle très important dans l'aération du sol et sur son régime hydrique. Les vers de terre, les termites, les rongeurs sont les principaux acteurs de cette activité. En creusant leurs galeries, les vers fouisseurs augmentent la porosité du sol. Ils facilitent ainsi la pénétration de l'air. Cela joue également sur la capacité du sol à drainer l'eau ;

- **fragmentation**

Avec la bioturbation, la fragmentation de la litière du bois mort et des cadavres, est une des conséquences les plus importantes de l'activité de la pédofaune. Elle influence fortement l'évolution de la matière organique dans le sol et conditionne pour une bonne part l'importance des peuplements bactériens, fongiques et **micro-fauniques** ;

-**formation d'agrégats**

Une fois la litière fragmentée, la matière organique est apte à l'humification, puis à la formation d'agrégats. Les vers de terre et les **macro-arthropodes** (termites), qui ingèrent des particules de terre avec leur nourriture, contribuent à cette formation. Les turricules sont constitués d'éléments ayant transité par le tube digestif des vers, tout comme leurs déjections souterraines. Ces déjections, contrairement à celles des autres organismes, sont des mélanges de matière organique et de matière minérale. Les espèces de termites humivores, dans les régions tropicales, produisent elles aussi ce type de déjection. Dans les huit jours environ suivant la formation d'un turricule de ver de terre ou d'une crotte de termite, explique Lavelle

(1997), beaucoup d'éléments minéraux sont encore disponibles et l'activité microbienne est forte. On y trouve de l'azote minéral, de l'ammonium et du phosphore assimilable.

Les racines des arbres participent aussi à cette formation d'agrégat par l'action mécanique et enrobante des radicelles mais aussi par les produits résultants du métabolisme de la microflore des rhizosphères.

1.3.2.2. Rôle chimique

La faune du sol influence les caractéristiques chimiques des sols par des voies très variées : elle participe non seulement à la minéralisation de l'azote organique par sa digestion, mais elle constitue aussi par elle-même une réserve d'azote souvent très importante et mobilisable à sa mort (Bachelier, 1978). Par leurs remontées de matériaux profonds, les animaux peuvent aussi augmenter le potentiel chimique des sols.

1.3.2.3. Rôle biologique

Les invertébrés entretiennent divers types de relation dans le processus de dégradation de la matière organique. Deprince (2003) illustre brièvement quelques unes de ces relations. Chez les lombrics, on assiste à la production du mucus, substrat organique très énergétique qu'ils mélangent dans leur tube digestif avec le sol ingéré et l'eau.

Le sol ingéré contient des particules minérales et organiques, mais aussi de la microflore. Les conditions sont alors idéales pour les bactéries (chaleur, humidité et matière organique fragmentée) qui récupèrent leurs capacités enzymatiques et digèrent la matière organique. La production de mucus demande un gros investissement énergétique, mais permet aux lombrics de récupérer les produits de la digestion effectuée par les bactéries réactivées.

Quant aux termites, ce serait grâce à des symbiontes de leur panse rectale qu'ils parviendraient à digérer la cellulose pour les espèces xylophages, ou les composés aromatiques, par exemple, pour les espèces humivores.

Le système de digestion extrêmement performant de ces animaux leur permet, en fin de compte, de déployer l'énergie nécessaire au creusement de leurs galeries ou à la construction de leurs édifices.

Toutes ces activités sont régies d'une part par les conditions physico-chimiques du milieu et d'autre part par les facteurs biotiques (les interactions entre les êtres vivants) dont deux sont prépondérantes : la prédation et la compétition.

1.3.3. Rôle particulier des termites

Parmi la macrofaune du sol, beaucoup d'espèces exercent une influence profonde sur leur environnement. Elles jouent un rôle essentiel dans la modification des propriétés physiques, chimiques du sol et modulent aussi la disponibilité des ressources (espace physique et alimentaire) pour les autres espèces comme les microorganismes et les plantes. De telles espèces sont appelées « ingénieurs de l'écosystème » (Jones *et al.*, 1994).

Ces ingénieurs produisent une grande étendue de structures organo-minérales, habituellement appelées structures biogéniques. Ces structures modifient les conditions de vie des organismes du sol (bactéries, champignons, microarthropodes...) ainsi que les plantes, dont elles influencent aussi l'abondance et la diversité.

Dans les écosystèmes naturels tropicaux, les termites ont une importance écologique. En effet, ils jouent un rôle déterminant dans la dynamique de la teneur en matière organique du sol, dans la structure physique des sols. De ce fait, ils ont été identifiés comme les principaux ingénieurs du sol (Lavelle, 1997). Ils demeurent en effet le seul groupe actif dans la bioturbation du sol, dans l'incorporation du matériel végétal, dans le système sol et la dynamique nutritive, sur les terres arides et semi-arides, durant la saison sèche.

Par ailleurs, ils peuvent atteindre une densité élevée (Jones, 1990) estimée à 70 à 110 kg/ha (Wood and Sands, 1978). Ces valeurs sont comparables avec la biomasse de la savane africaine (10 à 80 kg par ha) (Bell, 1982) et donnent de la crédibilité à une discussion sur l'importance des termites dans le fonctionnement des écosystèmes tropicaux (Deshmukh, 1989).

Des synthèses ont été publiées sur le rôle des termites dans le système sol et les processus de l'écosystème (Lee and Wood, 1971 ; Lobry de Bruyn and Conacher, 1990 ; Black and Okwakol, 1997, Holt and Lepage 2000). L'objectif est d'examiner les effets utiles des termites sur les services éco-systémiques, selon leur rôle bénéfique dans le système sol et la croissance des plantes et de déterminer de voir comment utiliser l'activité et la diversité des termites pour améliorer et restaurer la fertilité du sol dans les agro-systèmes.

1.3.3.1. Classification

Les termites appartiennent à l'embranchement des Arthropodes, à l'ordre des Isoptères et à la classe des Insectes. Ils construisent des nids de plusieurs types :

- soit des ensembles peu ordonnés de galeries et de chambres creusées dans les horizons du sol, pouvant atteindre une longueur totale de plusieurs centaines de mètres ;
- soit des nids structurés creusés dans le bois mort ;
- soit d'imposantes constructions, en forme de monticules ou de « cathédrales », qui peuvent atteindre 6 m de hauteur et 30 m de diamètre à la base, constituant sans doute les constructions les plus complexes du monde animal ;
- soit des nids arboricoles.

Les termites sont des insectes sociaux appartenant à plusieurs genres et espèces. Les espèces concernées par notre étude sont :

- *Macrotermes* sp.

Ce genre appartient à la famille des Termitidae et à la sous famille des Macrotermitinae avec des nids épigés. C'est dans cette sous-famille que se situent les termites constructeurs de grandes termitières (cathédrale). Ils se nourrissent de litière, bois mort, paille. A partir du nid, des galeries souterraines forment un réseau plus ou moins permanent. Ces galeries cheminent parallèlement à la surface du sol et aboutissent à des trous de récolte à partir desquels les ouvriers vont récolter la litière. Ils édifient des placages, lames fines constituées d'un mélange de salive et de sol pour se protéger des prédateurs, du climat et pour recouvrir leur source de nourriture (Grassé, 1984).



Photo 1 : Termitière de *Macrotermes subhyalinus*

- *Cubitermes* sp.

Ce sont des termites à régime humivore, de la famille des Termitidae, constructeurs de termitières en forme généralement de champignon.



Photo 2 : Termitière de *Cubitermes* sp

- *Trinervitermes* sp..

Ce sont des termites fourrageurs qui récoltent des graminées, qu'ils coupent en fragments et ramènent au nid. Les nids sont épigés avec leurs parois internes recouvertes de fèces.



Photo 3 : Termitière de *Trinervitermes* sp

1.3.3.2. Rôle écologique des termites.

Invertébrés détritivores dominants, les termites jouent un rôle vital dans les processus de décomposition (Wood and Sands, 1978; Matsumoto and Abe, 1979) et sont des médiateurs importants du flux du carbone (Jones, 1990 ; Lawton *et al.*, 1996). Ils consomment la matière organique (humus ou litière sèche) et construisent leurs nids à partir d'un mélange d'argile prélevé en profondeur, de salive, de fèces ou de matière végétale plus ou moins décomposée (Wood *et al.*, 1983 Ndiaye, 2003), excepté dans le cas des Macrotermitinae. Ces derniers sont des champignonnistes, et sont caractérisés par une exosymbiose avec un champignon (*Termitomyces sp*) qui complète la dégradation des litières (Collins, 1983). Dans tous les milieux, les consommateurs de litière sont probablement les plus importants écologiquement à cause de leur distribution universelle et leur prépondérance numérique en termes d'espèces et d'individus.

Le rôle des termites peut se résumer de la façon suivante :

- la décomposition et le recyclage des nutriments ;
- la modification de la structure du sol, la bioturbation et formation de sol ;
- l'augmentation de l'activité microbiologique du sol ;
- la croissance et biodiversité des plantes.

- modification de la structure du sol.

Dans les milieux semi-arides, les termites, par la construction de leurs nids, leurs systèmes de galeries de récolte et par le brassage du sol remanié et apporté en surface à partir des horizons profonds du sol, affectent les propriétés physico-chimiques du sol en améliorant la stabilité structurale et la porosité du sol (Mando, 1997). Il en résulte une diminution de la résistance à la pénétration (le sol est davantage poreux), une amélioration de l'infiltration du drainage de l'eau et une meilleure résistance à l'érosion hydrique. Les termites jouent aussi un rôle dans la bioturbation du sol. Une grande quantité de sol est déplacé dans les différents profils du sol pendant la construction des nids, tunnels et galeries. Les humivores construisent leurs nids avec les matériaux provenant des horizons de surface (Wood, 1996), tandis que le genre *Macrotermes* en Afrique obtient son matériel (particules de sol et eau) dans les profondeurs du sol, où ils peuvent aller jusqu'à la nappe phréatique (50 m) dans les zones sahéliennes du Sénégal (Lepage *et al.*, 1974). Ces déplacements de sol par les termites conduisent à des structures beaucoup plus fines. Par conséquent, ils influent sur la pédogenèse et la géodynamique des sols tropicaux (Raunet, 1979) ;

- décomposition et recyclage des nutriments

Les termites accélèrent la décomposition de la litière et la dynamique des nutriments. En forêt humide, ils consomment 6 à 7 tonnes de matière organique par an et par hectare (Maldague, 1964). En savane, au Kenya, 90% du bois mort (Buxton, 1981) et plus de 49% de la production annuelle d'herbe (Lepage, 1981) sont consommés par les termites. Lee and Wood (1971) rapporte que *Nasutitermes exitrosus* consomme 17% du total des feuilles tombées. Dans une forêt, Malysienne, Matsumoto and Abe (1979) ont estimé que *Macrotermes carbonarius* consomme 22-32% de la litière tombée ;

Ces études illustrent la grande proportion de litière recyclée par les termites. Ces insectes modulent la disponibilité des ressources (par exemple, l'espace physique et alimentaire) pour les autres espèces comme les microorganismes et les plantes ;

- augmentation de l'activité microbiologique

Beaucoup d'études ont suggéré que les termitières constituent des sites bactériens et fongiques. La population et la composition microbienne paraissent varier selon les compartiments de la termitière (Arshad *et al.*, 1982). Les nids contiennent généralement une grande diversité de champignons (Sands, 1969). Selon les travaux de Abbadie (1989), la grande diversité microbienne entraîne un plus haut niveau de matière organique, un bon approvisionnement en azote et un plus haut niveau d'humidité et de disponibilité des substrats.

- diversité et croissance des plantes

Les termites ont un effet sur la fertilité des sols et sur l'établissement des plantes. Des études menées dans ce sens ont montré qu'une grande partie des termitières construites par les termites *Macrotermitinae* supportaient une végétation comprenant des arbres et des arbustes qui étaient distincts des paysages environnants. Arshad (1982) a abondé dans le même sens en montrant l'influence de *Macrotermes michaelsoni* sur la fertilité des sols et sur la végétation dans les écosystèmes semi-arides. Spain *et al.*, (2004) ont démontré que la croissance des herbacés est significativement élevée sur les sols enrichis en structures biogéniques, comparée à ceux se trouvant sur les sols avoisinants. Duponnois *et al.*, (2004) s'est intéressé aux ligneux et a notifié l'effet positif des sols issus des nids de termites sur la croissance de *Acacia seyal*, une légumineuse abondante en Afrique de l'Ouest. Ces pratiques ne sont certes pas méconnues de la part du monde paysan. Ces derniers répandent souvent les sols de termitière dans leur champ comme alternative de fertilisant, en vue d'améliorer la disponibilité des

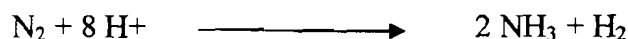
nutriments et les conditions du sol (Watson, 1977). Les conclusions des études menées au Burkina Faso (Lepage *et al.*, 2006) ont montré que les terres issues de termitières peuvent être utilisées comme inoculum microbien naturel, pour l'approvisionnement en nutriments et la croissance des plantes.

1.3.4. Rôle des microorganismes du sol

Les microorganismes du sol jouent un rôle prépondérant dans les processus de transformation de la matière organique, notamment la minéralisation de l'azote indispensable au développement des plantes. L'azote constitue en effet le principal facteur limitant dans la plupart des écosystèmes terrestres. Il compose environ 79% de l'atmosphère terrestre. Il est apporté dans le sol sous forme organique (fumier, feuilles, ou racines de plantes décomposées, compost) soit par fixation de l'azote gazeux atmosphérique par les bactéries spécifiques du sol, qui le transforme en ammonium (NH_4^+) ou nitrate (NO_3^-).

- fixation de l'azote atmosphérique

Les différents processus du cycle de l'azote dans les sols entraînent une perte importante de cet azote dans l'atmosphère sous forme de gaz. Cet azote peut encore être récupéré par l'action de certaines bactéries. La transformation du N_2 en ammonium s'effectue selon la réaction :

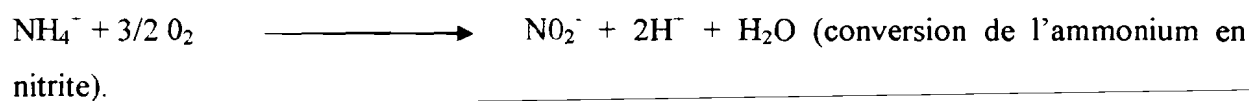


- l'ammonification

L'azote organique contenu dans les sols et de provenance variée (litière, biomasse végétale et animale, substances humiques) est minéralisé par un grand nombre de microorganismes hétérotrophes du sol. L'ammonification désigne la transformation de l'azote organique en ammonium. De nombreux organismes hétérotrophes, bactéries, actinomycètes et champignons vivent de ces substrats organiques, en libérant de l'azote inorganique (NH_4^+). C'est un processus de minéralisation appelé ammonification.

- nitrification

La plupart des organismes ne peuvent utiliser l'azote sous la forme d'ammonium et celui-ci doit être transformé en nitrate. Cette nitrification se déroule en deux étapes :





Chacune est contrôlée par des microorganismes spécifiques, tels que les *Nitrosomonas* dans le premier cas et les *Nitrobacter* dans le second.

- immobilisation de l'azote minéral

C'est la transformation de l'azote minéral (N-NH₄⁺ et N-NO₃⁻) en azote organique. Elle constitue le processus inverse de la minéralisation. Elle peut être effectuée soit par assimilation par les plantes, soit par l'activité des microorganismes. Ce processus est influencé par de très nombreux facteurs comme la température, les précipitations et la fertilisation. L'immobilisation est ralentie si les températures et l'humidité baissent. Des conditions aérobies ainsi qu'un pH neutre ou basique seront plus favorables (Diallo, 2003).

1.4. Relations entre la biodiversité épigée et hypogée

La diversité épigée se rapporte aux plantes et à tous les groupes d'animaux vivant en surface. Les plantes jouent en effet un rôle dominant dans la fourniture en matériel végétal, par la capture d'énergie du soleil, la séquestration du CO₂, dans les protéines et les autres substrats organiques. De ce fait, nous nous attendons à un lien fort entre la diversité épigée et hypogée car les plantes et leurs diversités déterminent le fonctionnement de l'écosystème hypogé par les facteurs tels que :

- la qualité et la quantité de la litière (Diallo, 2003). En effet, toutes les plantes fabriquent de la matière organique mais dans ce rôle les arbres ont une place prééminente de par leur richesse en lignine, matériau qui est considéré comme le précurseur immédiat de l'humus ou par l'importance de leurs racines qui sont les principaux pourvoyeurs du sol en matière organique (Daniel, 2002) ;
- l'équilibre de l'eau dans le sol et le microclimat en surface ; l'arbre intercepte les pluies et redistribue une partie vers l'atmosphère par évaporation (Akpo et Grouzis, 1993). L'arbre est aussi considéré comme un bon agent de protection vis-à-vis des divers types d'érosion (Young, 1995). Il joue également un rôle important sur le bilan hydrique en diminuant les phénomènes d'encroûtement d'une part et d'autre part en créant une porosité importante le long des racines mortes ou vivantes (Daniel, 2002) ;
- l'activité des racines, qui influe sur la rhizosphère par l'exsudation des organiques solubles (Coleman *et al.*, 1978). Les racines des arbres peuvent aussi jouer un rôle

important grâce à la puissance de leur réseau et à leur pérennité. Chaque fois qu'il existe une barrière structurale à la pénétration des racines, les arbres peuvent ménager des voies privilégiées d'accès aux horizons profonds (Daniel, 2002).

En retour, la communauté hypogée, constituée par les organismes vivants animaux (termites, nématodes, ver de terre), par la flore du sol (bactéries et champignons) fournit un nombre considérable de services environnementaux pour les plantes, parmi lesquels nous avons la décomposition et la minéralisation de la matière organique, l'amélioration des caractéristiques physico-chimiques du sol. Ces organismes sont impliqués aussi dans la production d'éléments nutritifs et leur transfert à la plante (Chotte *et al.*, 2002). De ce fait, nous pouvons donc penser que les liens entre la diversité épigée et hypogée existent mais que leur mise en place doit impliquer un certain temps avant d'être opérationnels, notamment dans un système zaï développé à partir d'un sol nu.

1.5. Discussion sur l'étude bibliographique

Les pratiques de réhabilitation, et plus particulièrement celles du zaï, sont des techniques qui présentent un important potentiel pour la restauration des sols. Bien que ces techniques ne puissent pas résoudre toutes les contraintes du développement agricole au sahel, elles ont donné des résultats satisfaisants et ont toutes une efficacité hautement reconnue et appréciée. De nombreux auteurs ont montré d'ailleurs l'impact positif de ces pratiques de réhabilitation. C'est le cas par exemple des études de Sangaré (2002). Celui-ci a noté et recensé le développement de nombreuses espèces végétales ligneuses et herbeuses sur les sites aménagés de Gourga, Dana, Sim, Ingaré et Somiaga. Les études de Laguemvaré (2003) attestent aussi de l'impact des techniques sur la dynamique de la végétation.

Nous devons maintenant nous interroger sur l'effet de ces pratiques de réhabilitation sur la diversité biologique et les conséquences de la mise en place de cette biodiversité, au cours des successions végétales, sur le fonctionnement de l'écosystème.

CHAPITRE II: MATERIEL ET METHODES

Ce chapitre comporte deux grandes parties, la première partie présente la zone d'étude et la seconde expose la méthodologie suivie pour obtenir les résultats.

2.1. Présentation de la zone d'étude

2.1.1. Situation géographique

La province du Yatenga (**Figure 2**) se situe au Nord Ouest du pays, à 180 km environ de la capitale Ouahigouha. Elle couvre une superficie de 7 103 km² et est limitée à l'Est par la province du Bam, au Nord Est par la province du Loroum, à l'Ouest par la province du Sourou, au Nord par la république du Mali et au Sud par la province du Zandoma. Représentant environ 2,6% du territoire national, cette province compte 13 départements et a pour capitale Ouahigouya.

2.1.2. Climat

Situé entre (13⁰06 -14⁰26 N; 1°-3° O), le Yatenga est soumis à un climat soudano-sahélien caractérisé par deux saisons :

- une saison pluvieuse, allant de mai à octobre. Elle est souvent mal répartie dans le temps et dans l'espace ;
 - une longue saison sèche, qui dure de 8 à 9 mois et comporte deux périodes (Bourzat, 1992). :
 - * la saison froide (14 à 36°C), de novembre à février, pendant laquelle souffle l'harmattan, un vent sec et froid chargé de poussière ;
 - * la saison chaude (23,7° à 47,3°C), de mars à mai.
-

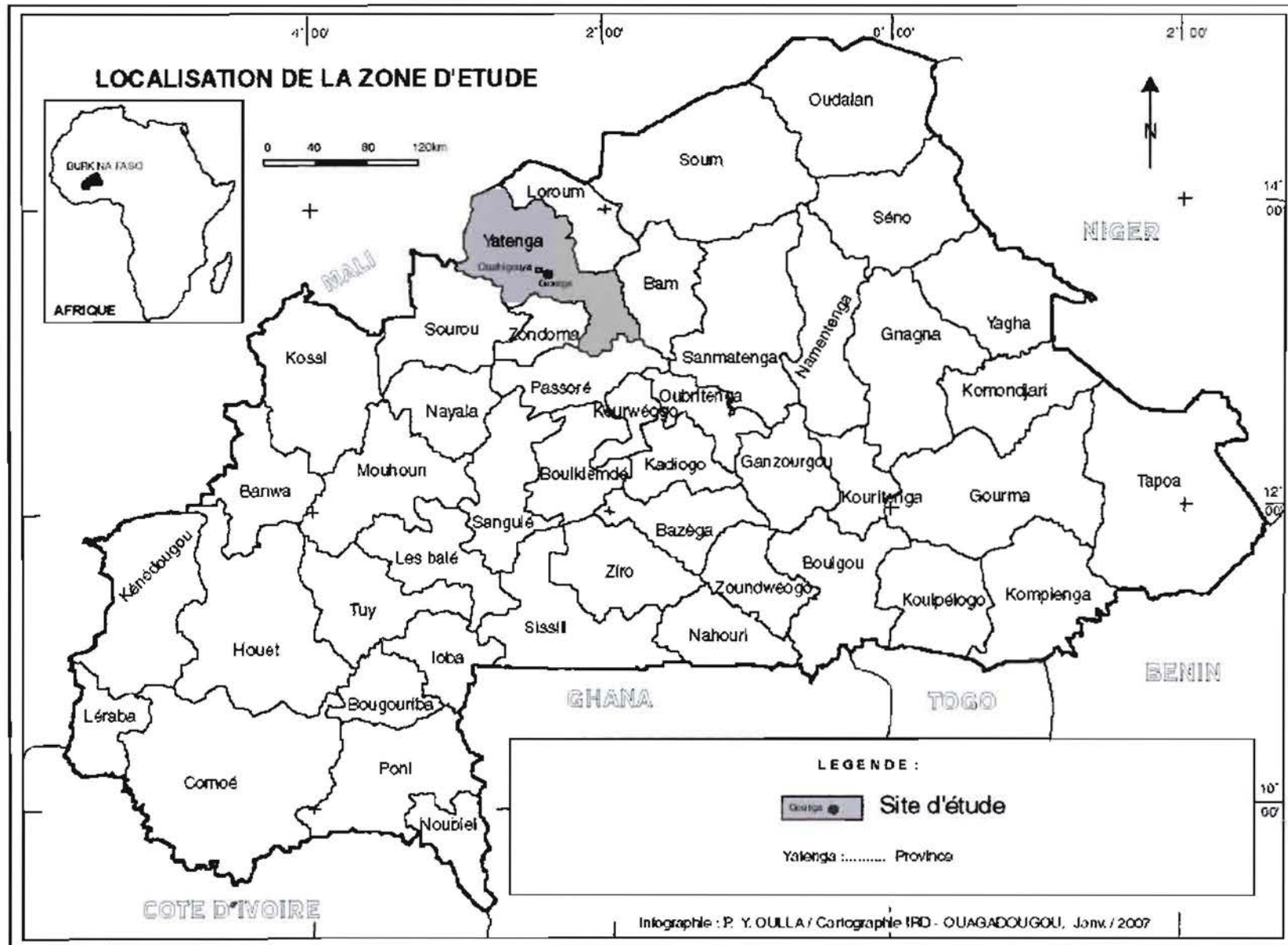


Figure 2. Localisation de la zone d'étude

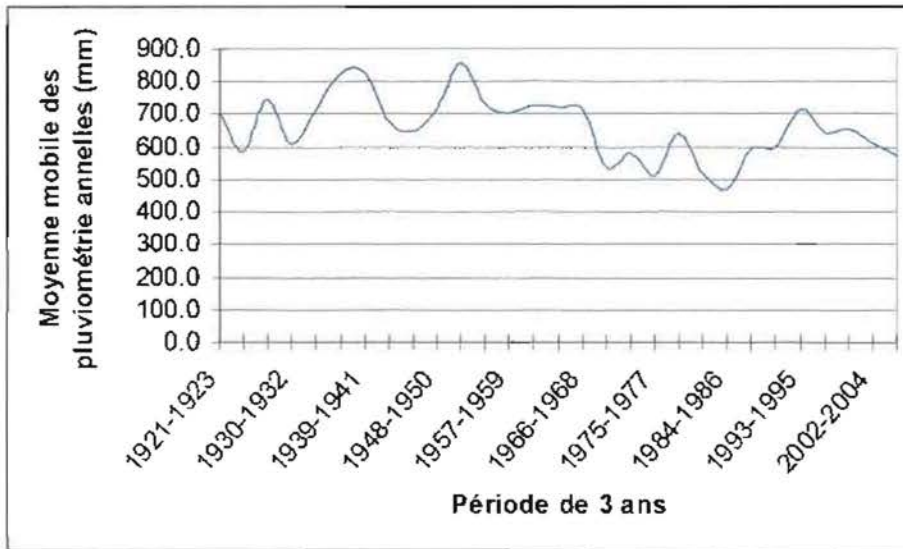


Figure 3. Variation de la moyenne pluviométrique du Yatenga (poste de Ouahigouya)

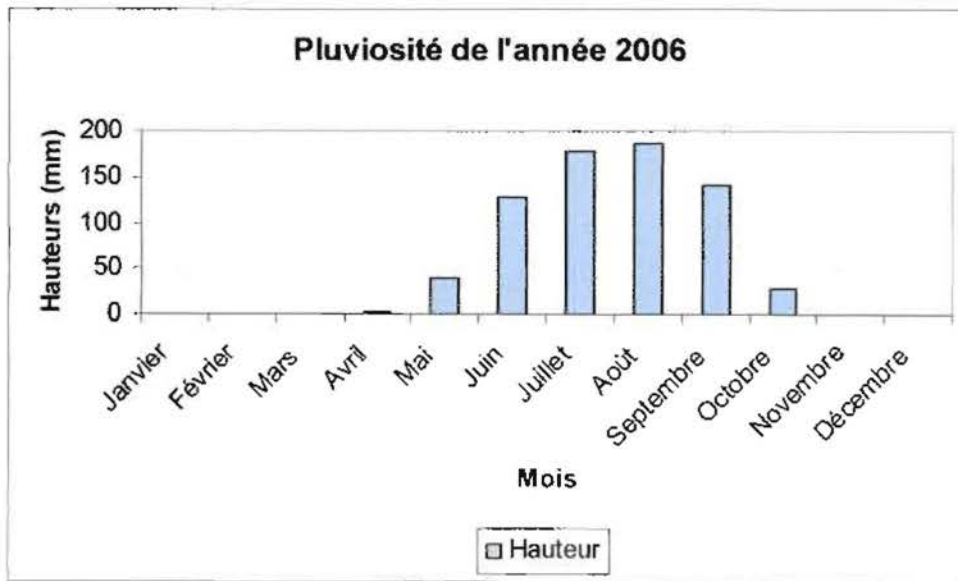


Figure 4. Pluviosité de l'année 2006 (poste de Ouahigouya)

Sur le plan pluviométrique, les précipitations sont peu abondantes et irrégulières dans le temps et dans l'espace.

De 1921 à 2004, les hauteurs d'eau annuelles varient entre 400 et moins de 900 mm (Figure 3). La moyenne est passée de 720 mm pour la période 1921-1974 (Marchal, 1983) à 594 mm pour la période 1979-1996 (poste pluviométrique de Ouahigouya). Les années 1980 se sont montrées catastrophiques avec des pluviosités en deçà de 500mm.

La pluviosité de l'année 2006 est donnée sur la Figure 4. La pluviosité totale de l'année 2006 est de 704,5 mm. Elle est répartie sur 7 mois et débute dès le mois d'avril mais

les plus fortes hauteurs d'eau sont enregistrées dans les mois de juillet et août, avec respectivement 178,2 et 186,6 mm.

Les amplitudes thermiques sont aussi très variables : les températures maximales atteignent 45°C en avril et les minimales 15°C en février.

2.1.3 Reliefs et Sols

La province du Yatenga est caractérisée par quatre types essentiels de reliefs (Dugué, 1989).

- les collines ferrugineuses, dont les plus élevées se situent autour de Koumbi, Seguenega et Kalsaka ;
- les plateaux, généralement longs de 2 km en moyenne ;
- les fonds de cuvette, qui sont des dépressions en pente douce de forme généralement circulaire ;
- les plaines, nombreuses et surtout rencontrées dans le Nord et l'Ouest de la province.

Ainsi, la succession « butte glacis, bas fond » contrôle la répartition des sols, de la végétation et l'utilisation de l'espace par l'homme (Roose *et al.*, 1993).

Quant aux sols, on distingue au moins cinq types selon les études de Boulet (1968) et (Roose *et al.*, 1993).

- -les sols minéraux bruts d'érosion qui occupent les sommets des collines, les affleurements cuirassés et les parties supérieures des hauts glacis ;
- les sols peu évolués d'érosion gravillonnaires, qui ont une épaisseur restreinte avec une texture graveleuse à sableuse et une faible capacité de rétention en eau ;
- les sols ferrugineux tropicaux lessivés et indurés, qui couvrent de vastes surfaces sur les glacis ;
- les sols bruns eutrophes tropicaux sur roches basiques, qui sont des sols profonds avec une texture argilo sableuse à argileuse ;
- les sols hydromorphes dans les bas-fonds ; ces sols sont peu étendus (moins de 10%).

2.1.4 Végétation

Fontes et Guinko (1995) regroupent l'ensemble de la zone dans le domaine phytogéographique sub-sahélien. Les formations végétales rencontrées comprennent des savanes arborées, des savanes arbustives et des steppes à arbrisseaux. Selon Bourzat (1992),

du fait de la situation du Yatenga entre les isohyètes 500 et 600mm, et de la surexploitation agricole, de la demande rurale et citadine toujours plus grande en bois de chauffe, cette savane s'apparente maintenant à une savane steppique dans le Nord de la province.

Ainsi on distingue, selon toujours Fontès et Guinko (1995) :

- la savane arbustive à *Combretum micranthum* G.Don, *Acacia macrostachya* Reichenb.ex Dc.et *Guiera senegalensis* J.F.Gmel., prédominante au Nord ;
- les plaines sableuses, occupées par une savane steppique composée d'une strate herbacée à *Pennisetum pedicellatum* Trin.et *Aristida longiflora* Sch.et Thon., associée à une formation ligneuse basse et claire dominée par *Boscia senegalensis* (Pers.) et *Bauhinia reticulata* ;
- la savane arborée et les parcs, étroitement associés, qui se partagent le paysage au Sud.
- la savane arborée occupe les bas-fonds et se compose de grands arbres comme *Khaya senegalensis* (Desr.), *Anogeissus leiocarpus* (Dc.) Guill. Et Perr. , *Acacia erythrocalyx* Brenan., *Mitragyna inermis* (Wild.), *Tamarindus indica* Limm. La savane-parc est constituée de *Acacia albida* Del., *Vittelaria paradoxa* Gaertn, *Tamarindus indica*, *Sclerocarya birrea* (A.Rich) Hochst., *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. ex G. Don et *Lannea acida* A.Rich.

2.1.5 Populations et activités

Les résultats définitifs du recensement général de la population et de l'habitat (RGPHP) du Burkina Faso (INSD, 2000) fait état d'une population de 444 563 habitants, avec une densité de 62,58 habitants/km² pour le Yatenga. Du point de vue des groupes ethniques, la province est dominée fortement par les mossis 89,74%, suivis des peulhs 6,5%. Cette population est en majorité musulmane mais il y a des chrétiens et des animistes.

Dans le domaine économique, l'agriculture est l'activité principale, avec une production céréalière représentant 90% des surfaces cultivées (sorgho, mil). La production maraîchère est non négligeable. La province est même d'ailleurs un des pôles de production de vente et d'exportation. L'élevage tient aussi une place importante dans l'économie des exploitations de la région. Cet élevage concerne les petits ruminants, de la volaille pour des revenus réguliers, mais également les bovins comme moyens de capitalisation ou d'épargne (pour les périodes de disettes). L'effectif du cheptel en 2003 selon le Ministère des ressources animales comptait :

- bovins : 153 995 têtes ;
- ovins : 298 257 têtes ;
- caprins : 367 596 têtes ;
- asins : 29 106 têtes ;
- volaille : 1 316 146 têtes.

Par ailleurs, le petit commerce, l'artisanat, l'orpaillage, les travaux temporaires en ville sont les autres occupations et activités de la population de la région.

2.2 Site d'étude

Situé à 8 km de Ouahigouya, chef lieu de la province du Yatenga, Gourga a été érigé en secteur N° 15 de la commune par arrêté N° 2000-100/MATD/DGAT/DOAT du 03/07/2000.

La population en 2006 était estimée à 1 874 habitants. La particularité de ce village est l'existence de vieilles parcelles de zaï et la pratique très ancienne de cette technique.

Le lieu d'étude est constitué par des parcelles de zaï forestier de différents âges, mis en place par un paysan innovateur du nom de Mr Yacouba Sawadogo. Ces parcelles d'âges variables ont été mises en culture par la technique du zaï, puis laissées en jachère et mises en défens pendant plusieurs années. De nos jours, l'âge des différentes parcelles varie entre 14 ans et 30 ans et comportent diverses espèces ligneuses et herbacées. Ce site offre, de ce fait, une excellente opportunité pour l'étude à l'échelle du terroir, de l'impact du zaï sur la diversité biologique.

Un positionnement géographique (GPS) de cette zone, ainsi qu'un relevé topographique, ont été réalisés (**Figure 5**).

2.3 Approche méthodologique

Notre travail s'inscrit dans le cadre de l'étude de l'effet des pratiques de réhabilitation sur la diversité biologique du sol.

De ce fait, quatre grands axes ont été développés :

- étude de la végétation
- étude du sol
- étude de la faune du sol (termites)
- étude de la diversité microbienne.

Le site d'étude est constitué par les parcelles d'un paysan innovateur dont les parcelles de Zai agricole ont été laissées en jachère au profit de la croissance et de la régénération ligneuse et herbacée. Ces parcelles, selon les études de Laguemvaré (2003) peuvent être considérées comme représentatives d'une succession à partir d'un « zipellé » ou zone blanche.

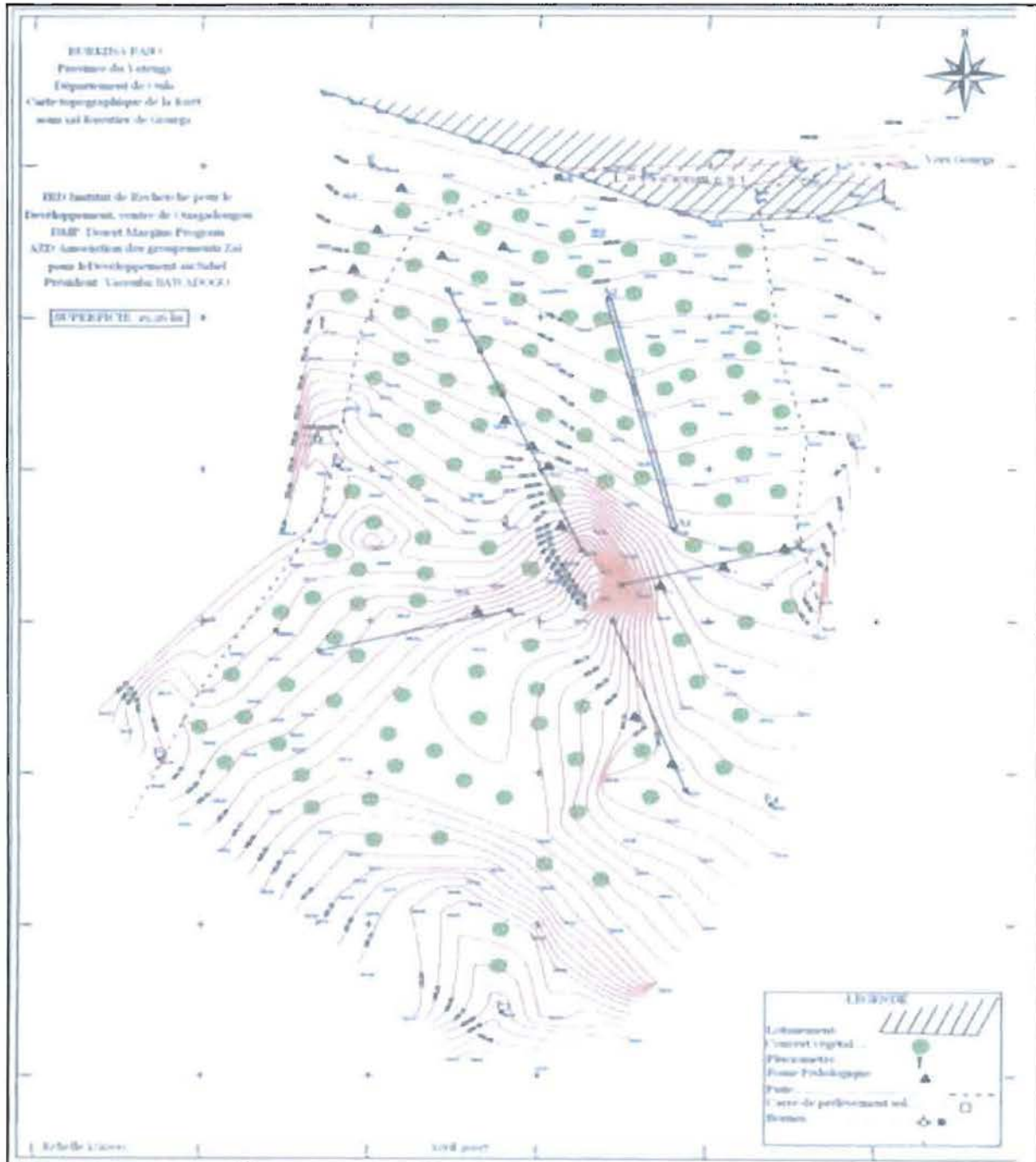


Figure 5. Carte topographique du site d'étude

2.3.1. Matériels

Nous avons utilisé :

*** Pour le terrain :**

- des carrés de (0,5x 0,5 m) pour le prélèvement des herbes, placages de termites et litière ;
- une boussole pour mettre en place les toposéquences selon les points cardinaux et disposer les carrés de prélèvement ;
- des décimètres pour matérialiser les toposéquences et disposer les carrés d'échantillonnage à intervalles réguliers ;
- un mètre ruban pour prendre la mesure des circonférences des arbres ;
- une perche graduée pour la mesure des hauteurs des arbres.

2.3.2. Etude de la végétation

Le terrain s'organise autour d'une butte cuirassée. Le dispositif choisi consiste à échantillonner le milieu selon cette butte, en disposant quatre transects orientés selon les points cardinaux et selon cette toposéquence (carte topographique).

Les carrés d'échantillonnage sont disposés à des intervalles réguliers à partir du début du transect.

Le choix de la méthode des carrés s'explique par le besoin de caractériser à intervalles fixes les différents paramètres du milieu, selon des toposéquences (végétation, litière, placage, sol, recouvrement herbacé).

Au total, le nombre de carrés échantillonnés est de :

- transect Sud : 40 carrés espacés de 3m, soit une longueur de 120m ;
- transect Nord : 40 carrés espacés de 3m, soit une longueur de 120m ;
- transect Ouest : 40 carrés espacés de 3m, soit une longueur de 120m ;
- transect Est : 36 carrés sur une longueur de 108 m.

2.3.2.1 Relevé des espèces herbacées et mesure de leur biomasse

Le relevé a été effectué après la saison des pluies, en octobre, conformément au dispositif mise en place (**Figure 6**). Sur chaque transect, à partir du point de départ constitué par la butte cuirassée, la mise en place des carrés de 0,5 m de côté s'effectue à intervalles réguliers tous les 3 m. Nous procédons ensuite au prélèvement des parties épigées des herbes

au moyen de ciseaux et en ramassant ensuite la litière présente au sol ainsi que les placages de termites qui s'y trouvent. Ces prélèvements sont séparés dans des sachets différents avec une étiquette indiquant leur provenance. Le sol est enfin nettoyé avec un pinceau afin de compter les trous de récolte faits par les termites à la surface du sol.

Au laboratoire, les herbacées recueillies sont triées par espèces et par carré et leur poids sec est mesuré après passage à l'étuve (3 jours à 65°C). La litière est également pesée, après avoir distingué entre la litière d'origine ligneuse et la litière d'origine herbacée. Les paramètres suivants sont donc recueillis pour chaque carré:

- **le nombre d'espèces** ou diversité spécifique, selon le nom scientifique donné à chacune des espèces présentes ;
- **la biomasse herbacée**, selon le tri des espèces, ou bien sommée pour toutes les espèces ;
- **le poids de la litière**, en distinguant selon son origine (tiges de graminées, feuilles d'arbres, brindilles, graines).

2.3.2.2. Relevé des espèces ligneuses

L'inventaire des ligneux (espèces, abondance) a été effectué selon des grands carrés (3 × 3 m) (**Figure 7**), placés de façon à encadrer chaque petit carré de (0,5 × 0,5 m).

L'échantillonnage a consisté à identifier pied par pied tous les individus ligneux. Seuls les individus ayant une hauteur supérieure à 50 cm et une circonférence supérieure à 5 cm ont été ensuite mesurés. Les individus non mesurés sont considérés comme plantules.

Les paramètres suivants ont été mesurés :

- la hauteur totale, à l'aide d'une perche graduée, tenue verticalement depuis la base jusqu'au dernier bourgeon de l'arbre ;
- la circonférence de base, mesurée avec un mètre ruban entre 10 et 20 cm du sol ;
- le recouvrement herbacé dans les grands carrés de (3 × 3 m).

Nous avons estimé à l'œil le pourcentage de la surface du sol recouverte par la végétation herbacée dans chaque grand carré de 9 m².

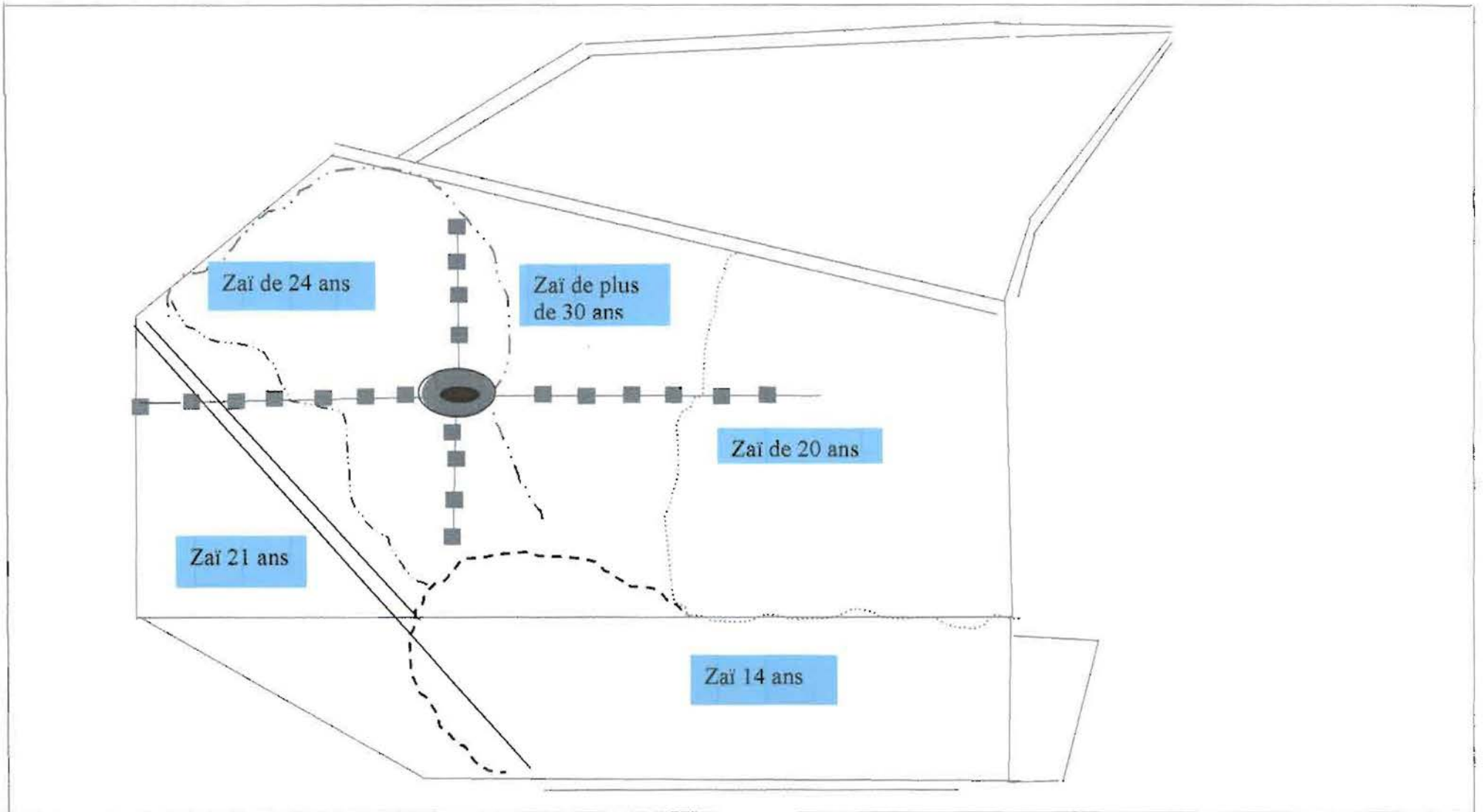


Figure 6. Dispositif expérimental pour le relevé des herbacées

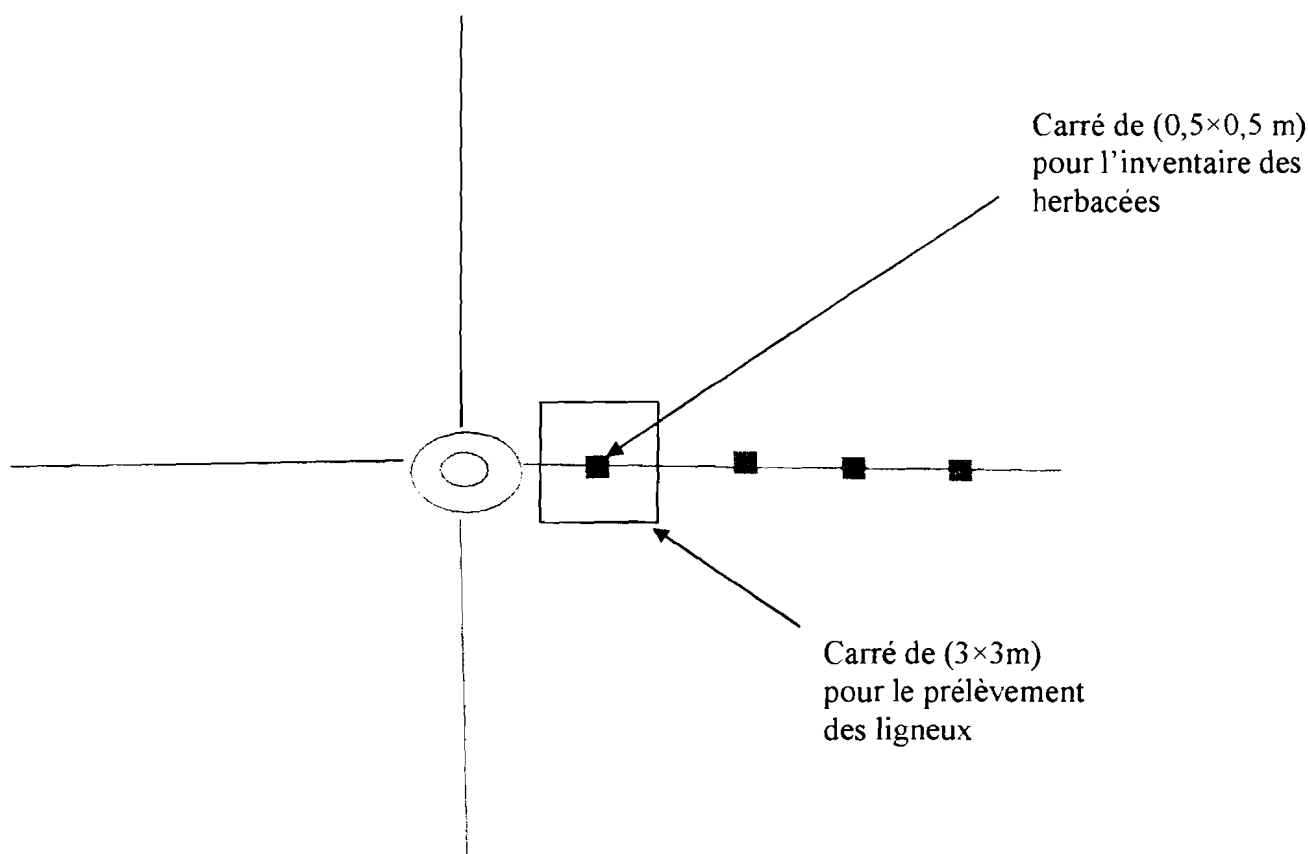


Figure 7. Dispositif expérimental pour le relevé des ligneux

2.3.3. Etude de la macrofaune du sol

L'activité de récolte des termites a été appréciée par le prélèvement des structures biogéniques qui sont édifiées (placages, sorties de récolte). Ces placages sont prélevés soigneusement sur les surfaces de chaque carré et sont pesés ultérieurement au laboratoire par unité de surface. Par ailleurs le nombre de trous de récolte perçant la surface du sol est comptabilisé dans chaque carré.

2.3.4. Etude du sol

Des études morphologiques et des analyses chimiques ont été effectuées.

2.3.4.1 Etude morphologique des sols par une approche toposéquentielle

Les milieux naturels se différencient souvent très régulièrement des parties hautes vers les parties basses du paysage. De ce fait, 20 fosses pédologiques ont été creusées et décrites en fonction de la pente, de l'âge du zai et de l'hétérogénéité du sol. L'analyse de ces fosses

pédologiques effectuées le long des transects a permis de réaliser la toposéquence du milieu.

Les 20 fosses se répartissent de la façon suivante :

- transect Sud : 4 fosses ;
- transect Nord : 6 fosses ;
- transect Ouest : 4 fosses ;
- transect Est : 3 fosses ;
- zone nue : 3 fosses.

Des prélèvements systématiques ont été faits dans les fosses et aussi dans les petits carrés de (0,5 × 0,5 m). Grâce à ces prélèvements, la charge graveleuse a été déterminée en tamisant le sol à 2 mm et en calculant le pourcentage de refus.

Des analyses chimiques de fertilité du sol ont été réalisées. De ce fait, 13 échantillons représentatifs des fosses, et 59 échantillons représentatifs des petits carrés, ont été retenus pour ces analyses. Pour les petits carrés (0,5× 0,5 m), le choix s'est fait en tenant compte de l'âge et de la toposéquence. Ainsi, 4 carrés ont été retenus et 8 prélèvements (soit 2 prélèvements par carré dans les deux horizons du sol) dans chaque âge du zaï. Par ailleurs, après la pose des carrés d'échantillonnage et la détermination des différents âges de zaï que chaque transect a traversé, nous nous sommes rendu compte qu'une parcelle de zaï plus jeune se trouvait non loin de la fin du transect Nord (carte topographique). Elle était à 32 m, et nous avons jugé intéressant de la prendre en compte dans l'étude du sol, en raison son âge plus jeune par rapport aux autres milieux échantillonnés. Elle fera l'objet d'une comparaison avec les autres parcelles de zaï qui sont pour la plupart au dessus de la vingtaine d'années.

2.3.4.2. Analyse des sols

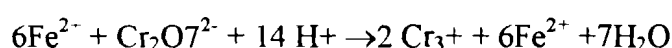
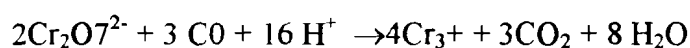
- **Granulométrie**

La granulométrie a été mesurée selon 5 classes : argiles, limons fins et grossiers, sables fins et grossiers. La texture a été déterminée par la méthode du fractionnement à l'eau, proposée par Feller *et al.*, (1991). Il s'agit d'une séparation des particules de sol en classes de tailles après destruction des agrégats. Une première opération consiste à détruire les particules organiques à l'aide de l'eau oxygénée. La dispersion des particules organiques et minérales s'effectue ensuite à l'aide de métaphosphate de sodium. L'étape suivante consiste à récupérer les matériaux selon les classes de taille, après un temps de décantation prédéterminé. A l'aide d'une pipette, les argiles et limons fins sont prélevés dans un premier temps, puis les argiles seules (T0 + 6 heures). Ensuite, les sables et limons fins, séchés, puis tamisés.

- **Dosage du carbone organique**

Le carbone, constituant majeur de la matière organique, est l'un des éléments nutritifs des plantes. Son évaluation permet une connaissance de la quantité de la matière organique présente.

La méthode utilisée est celle de Walkley-Black (1934). C'est une méthode par voie humide ; elle consiste en une oxydation à froid d'un échantillon (solide ou liquide) par une solution de bichromate de potassium en présence d'acide sulfurique. L'excès de bichromate est dosé en retour avec une solution standard de Fe²⁺ (dans du sulfate d'ammonium ferreux : sel de Mohr dont la formule chimique est FeSO₄(NH₄)₆) pour déterminer la quantité qui a réagi. Les équations de réaction sont les suivantes :



- **Dosage de l'azote organique**

L'azote est dosé par la méthode de Kjeldahl (Hillebrand *et al.*, 1953). Les échantillons de sol ont été soumis à une minéralisation Kjeldahl, avec l'acide H₂SO₄ et C₇H₆O₃ en présence de H₂O₂, et du sélénium qui est utilisé comme catalyseur. Après cette minéralisation, la solution aqueuse est mélangée à du carbone actif. Les éléments azote sont déterminés directement à l'auto analyseur.

- **Dosage du Phosphore assimilable**

Les plantes absorbent le phosphore sous forme d'anions H₂PO₄⁻ et HPO₄²⁻ issus de l'altération des minéraux de la minéralisation de la matière organique ou de l'apport d'engrais.

Le phosphore total est dosé par calorimétrie automatique. La méthode Bray I (Dickman *et al.*, 1940) a été utilisée pour le dosage du phosphore assimilable à un pH 3,5 avec un rapport d'extraction de 1/7 (2g de sol pour 14ml de solution Bray 1 (NH₄F) et un temps d'extraction d'une minute. L'acide chlorhydrique est utilisé pour extraire les formes de phosphore (P) solubles dans l'acide. Le fluorure d'ammonium dissout les phosphates de Fe et d'Al en formant un complexe entre ces ions et ceux des métaux en solution acide.

- **Mesures du pH_{eau} et pH_{KCl}**

Le pH régule fortement l'activité de nitrification. Ainsi, en milieu basique il y a blocage de la nitrification par le NH_4^- (le substrat organique est le NH_3) et en milieu acide il y a également diminution de la nitrification (Diallo, 2003 ; Ndiaye, 2003). Par ailleurs les bactéries nitrifiantes ont une croissance et une activité optimale pour un pH compris entre 6,6 et 8 (Paul and Clark, 1989, cité par Diallo, 2003).

Les pH_{eau} et pH_{KCl} des sols ont été mesurés par la méthode électrométrique au pH-mètre.

Pour déterminer le pH_{eau} du sol, 2 g de terre de chaque échantillon est pesé et mélangé à 50ml d'eau distillée. L'ensemble est agité pendant 5 mn à l'aide d'un agitateur électrique. Le pH_{eau} de la suspension, au repos, est déterminé électroniquement sur le pH-mètre après étalonnage avec les solutions tampons de pH4 et pH 7.

Le pH_{KCl} a été déterminé à partir d'une suspension sol/KCl contenant 3,74 g de KCl (poudre), 20 g de sol et 50 ml d'eau distillée. L'ensemble a été agité et laissé au repos pendant 30mn. La lecture du pH a été réalisée avec le pH-mètre après étalonnage avec les solutions tampons de pH4 et pH 7.

- **Bases échangeables et Capacité d'échange cationique (CEC)**

La méthode d'analyse utilise l'argent thiourée à 0,01 M (mélange de AgNO_3) et le Thiourée (H_2NCSNH_2) :

On agite l'échantillon avec une solution d'Argent Thiourée (AgTu) pendant deux heures. Ensuite, l'échantillon est filtré ou centrifugé. Après cela, on procède à la détermination de Ca^{2+} et du Mg^{2+} dans le filtrat ou le centrifugat à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (ASS). La détermination du potassium et du sodium dans le filtrat se fait à l'aide d'un photomètre à flamme. Quant à la Capacité d'échange cationique, c'est la quantité d'argent dosé dans le filtrat qui la représente :

$\text{CEC} = \text{S} + \text{A} + \text{Mn}$. ($\text{A} = \text{H}^+ + \sum \text{Al}$) et $\text{S} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}$.

- **Potentiel capillaire pF (2,5 ; 3 ; 4,2)**

La méthode utilisée est la méthode par pression. On débute par une mise en saturation de l'échantillon à l'eau pendant 72 heures au plus. Ensuite, on procède à une soumission de l'échantillon à une pression déterminée (2,5 ; 3 ; 4,2 bars). L'eau en excès est éliminée jusqu'à l'établissement d'un équilibre entre la pression et la force de rétention de l'eau par le sol. On détermine la teneur en eau de l'échantillon à l'étuve à 105°C.

2.3.5. Etude du compartiment microbien

Cette évaluation est faite sur les mêmes échantillons prélevés pour l'analyse chimique du sol des différentes parcelles du zaï forestier, afin d'évaluer la diversité microbienne selon la succession végétale et selon l'hétérogénéité du milieu. Il s'agit également d'examiner la relation éventuelle entre la diversité hypogée et la diversité épigée des parcelles.

Ainsi 36 échantillons ont été retenus pour l'analyse de la diversité microbienne soit, les 28 échantillons de l'horizon (0-5 cm) provenant des petits carrés (0,5 × 0,5 m) et 8 échantillons provenant des structures biogéniques des termitières (placage, et termitière *Macrotermes*, *Cubitermes*, *Trinervitermes*).

Trois analyses ont été faites dans le cadre de l'étude de la diversité microbienne dans le Laboratoire d'écologie microbienne des sols et agrosystèmes tropicaux (LEMSAT- IRD Dakar) :

- le potentiel respiratoire du sol ;
- la biomasse microbienne ;
- la diversité catabolique.

2.3.5.1 Mesure du potentiel de respiration du sol

- **Principe**

Le principe est basé sur la mesure du dégagement de CO₂ par rapport au volume total d'air en fonction du temps, par l'échantillon de sol incubé dans une enceinte close.

Les mesures sont faites tous les jours par injection directe dans un micro-Chromatographe en phase gazeuse de type SRA analytical Instruments (MTI P 200 Microsensor Tecnology Inc ; Fremont, CA, USA) équipé d'une colonne Poraplot ; l'hélium est utilisé comme gaz vecteur. Les résultats sont donnés en pourcentage du volume du flacon et sont calculés en tenant compte de T₀ (quantité de CO₂ de départ). Ainsi, les mesures journalières définissent une cinétique de dégagement de CO₂.

- **Mode opératoire**

Les prises de sol sont de 25 g par flacon de 120 ml et par répétition (3 répétitions) et sont humectées au maximum à 100% de leur capacité de rétention en eau du sol. Ces flacons en verre sont fermés hermétiquement et sont bien agités avant la mesure de T₀ (quantité de CO₂ de départ.)

Chaque jour, une lecture est faite par injection au μ CPG (Chromatographie en phase gazeuse) pendant sept jours.

2.3.5.2 Biomasse microbienne

Les échantillons de sol ayant subi les mesures journalières de la quantité de CO_2 , sont récupérés au septième jour pour la quantification de la biomasse microbienne par la méthode de Fumigation- Extraction (Amato and Ladd, 1988 ; Wu *et al.*, 1990).

C'est une technique qui fait appel aux vapeurs de chloroforme et au dosage des composés carbonés solubilisés par ce traitement. La différence du carbone organique soluble entre les échantillons fumigés et non fumigés donne la quantité de carbone « extractible » d'origine microbienne. Cette quantité est directement proportionnelle à la biomasse. La méthode est donc une mesure globale représentant une quantité de carbone « vivant » dans le sol.

- **Principe**

L'azote α -aminé contenu dans les microorganismes est obtenu par une incubation dans un milieu saturé en chloroforme (fumigation) destiné à tuer les organismes vivants du sol. L'azote α -aminé apparaît au cours de la fumigation par la lyse des microorganismes du sol tués par le chloroforme. Cette quantité d'azote α -aminé est fonction de la quantité de microorganismes présents dans le sol avant la fumigation.

La méthode de Fumigation Extraction s'applique à la détermination de l'azote α -aminé par incubation au chloroforme puis extraction par le chlorure de potassium (KCl). Les quantités extraites (T_0 ; T_{10}) sont mises en présence de réactif à la ninhydrine. La réaction colorée est basée sur la formation d'un composé de couleur pourpre qui se forme suite à l'ajout du réactif à l'extrait. La lecture de la densité optique se fait à la longueur d'onde de 570 nm à pH 5,5. La quantité de carbone présent dans la biomasse est calculée en multipliant le gain d'azote alpha aminé libéré lors de l'incubation par le facteur 21 (Amato and Ladd, 1988).

Les résultats sont exprimés en $\mu\text{g Cg/sol}$. La valeur de l'azote microbien par échantillon de sol est obtenue à partir de la formule suivante :

$$N_m = \frac{((N_{T_{10}} - N_{T_0}) \times 75)}{(P - P \times H)}$$

N_m = azote microbien ($\mu\text{g/ g de sol sec}$) ;

N_{T_0} = azote α -aminé mesuré dans les extraits KCL au temps T_0 ($\mu\text{g N ml}^{-1}$) ;

$N_{T_{10}}$ = azote α -aminé mesuré dans les extraits KCL après incubation de 10 jours ($\mu\text{g N ml}^{-1}$)

P = poids de l'échantillon frais (g) ;

H = humidité de l'échantillon (%) = $(\text{poids frais} - \text{poids sec}) \times 100 / \text{poids sec}$.

- **Mode Opérateur**

La procédure consiste à peser les quantités de sols nécessaires pour extraire l'azote α -aminé avant incubation (T_0) et l'azote α -aminé après incubation (T_{10}) (**Annexe 4**).

2.3.6 Traitement des données

Les données récoltées ont été traitées avec le tableur Excel (Microsoft). Les analyses statistiques ont été faites à l'aide du logiciel XLSTAT pour les tests sur la variance et l'analyse en composantes principales (ACP). L'avantage de l'analyse multivariée, par rapport aux tests statistiques simples, est de permettre de prendre en considération l'ensemble des paramètres mesurés en une seule analyse et de dégager ainsi les principales tendances à l'origine des variations observées.

La diversité spécifique ou richesse spécifique se définit comme le nombre total d'espèces présentes. Elle est déterminée à partir du nombre d'espèces échantillonnées sur le terrain et du nombre d'espèce calculée ou théorique.

Nous avons utilisé pour cela deux estimateurs non paramétriques, Chao et Jackknife (Chao, 1984 ; Chao, 1987 ; Chazdon *et al.*, 1998), pour estimer la diversité spécifique théorique des ligneux et des herbacées. Ces estimateurs de diversité spécifique, basés sur la présence/absence et l'abondance, permettent de mieux estimer la richesse spécifique présente, comparativement au nombre d'espèces observé qui lui, sous-estime le nombre réel d'espèces présentes (Chadzon *et al.*, 1998). De plus l'utilisation de ces estimateurs se justifie par le fait qu'ils ne sont pas influencés par la présence d'espèces rares, contrairement à l'indice de Shannon (H).

Le calcul de la diversité a concerné pour les herbacées leurs biomasses aériennes tandis que pour les ligneux, c'est le nombre d'individus par espèce qui a été considéré. Aussi, la forme corrigée de l'estimateur de richesse spécifique, Chao1 et Chao2 a été utilisée. Celle-ci est fournie par le logiciel EstimateS 8.00 (Colwell 2006) suivant les formules (recommandées par défaut):

Estimateur de richesse spécifique Chao1 :(estimateur de l'abondance de la richesse Spécifique (Chao, 1984)

$$S_{\text{Chao1}} = S_{\text{obs.}} + \frac{F_1 (F_1 - 1)}{2 (F_2 + 1)} = S_{\text{obs.}} + \frac{F_1^2}{2F_2}$$

Estimation de richesse spécifique Chao2 : (estimateur de l'incidence (Chao, 1987)

$$S_{\text{Chao2}} = S_{\text{obs.}} + \left(\frac{m-1}{m} \right) \left[\frac{Q_1 (Q_1 - 1)}{2(Q_2 + 1)} \right] = S_{\text{obs.}} + \frac{Q_1^2}{2Q_2}$$

Estimateur de richesse spécifique Jackknife1:

$$S_{\text{Jack1}} = S_{\text{obs.}} + Q_1 \left(\frac{m-1}{m} \right)$$

Estimateur de diversité spécifique Jackknife2:

$$S_{\text{Jack1}} = S_{\text{obs.}} + \left[Q_1 \left(\frac{2m-3}{m} \right) - Q_2 \left(\frac{(m-2)^2}{m(m-1)} \right) \right]$$

Avec S_{est} richesse spécifique théorique est remplacé dans la formule par le nom de l'estimateur; $S_{\text{obs.}}$, nombre total d'espèces observées sur l'ensemble des milieux ; m , nombre total de carrés ; F_i = nombre d'espèces avec exactement i individus lorsque tous les quadrats sont pris ensemble (F_1 = fréquence des singletons et F_2 = fréquences des doubles) ; Q_i = nombre d'espèces apparaissant exactement dans j quadrats (Q_1 = fréquence des singletons, Q_2 = fréquence des doubles).

CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Etude de la végétation

La végétation est à l'origine de l'accumulation de matière organique, permettant un recyclage et un stockage des éléments minéraux, qu'ils proviennent des horizons supérieurs (immobilisation) ou des horizons en profondeurs (remontée).

Dans cette végétation, les ligneux apparaissent comme l'élément clé. Ils sont capables de fixer des éléments minéraux en profondeur, de modifier les sols par leur système racinaire et de favoriser la diversité des niches écologiques et par conséquent des organismes vivants du sol et de leur activité. Le temps nécessaire pour qu'une jachère atteigne un niveau qualitatif suffisant pour assurer un état du sol propice à la mise en culture sera donc tributaire de la vitesse de croissance des ligneux (Masse *et al.*, 2005).

3.1.1. Espèces et diversité

3.1.1.1 Composition floristique

La végétation est décrite ici à travers sa structure, qui est définie comme la répartition spatiale des individus végétaux herbacés ou ligneux sur un site donné.

Sur la base de la méthode des carrés, nous avons établi la liste floristique des espèces ligneuses : au total, 27 espèces ligneuses appartenant à 16 familles ont été rencontrées. Les familles les plus représentées sont les Combretaceae (49,28%), les Caesalpinaceae (27,9%), et les Mimosaceae (6,52%).

Quant aux herbacées, la liste floristique se compose de 50 espèces appartenant à 19 familles. Les plus représentées sont les suivantes : les Poaceae (26,4 %), les Fabaceae (21,7%), et les Rubiaceae (20,5 %).

Les résultats ci-dessus attestent de la colonisation des parcelles de zai par de nombreuses espèces végétales appartenant à plusieurs familles. L'examen de la composition floristique herbacée révèle une nette prédominance de Poaceae. La composition ligneuse, quant à elle, est représentée essentiellement par les Combretaceae et les Caesalpinaceae.

3.1.1.2 Fréquence des espèces

Elle permet d'identifier les espèces les plus abondantes dans chaque peuplement et aussi les espèces qui participent de façon significative au recouvrement et à la biomasse herbacée. Pour des raisons de commodité, les espèces seront citées dans le texte sans leur nom d'auteur. Les noms d'auteurs sont cités dans les **Tableaux 1 et 2**, avec la liste de toutes les espèces recensées.

La **Figure 8** indique les fréquences des ligneux dans chaque parcelle de zaï.

Dans le zaï 21 ans on constate un grand nombre d'espèces. Les fréquences varient peu d'une espèce à l'autre. La répartition est assez homogène dans cette parcelle. Dans les zaï de 24 ans, 20 ans et surtout de 30 ans, on rencontre par contre deux à trois espèces à très grande fréquence (17% à 65%) et des espèces à très faible fréquence (moins de 1%). La répartition des espèces dans ces parcelles est marquée par la dominance de certaines espèces.

Pour la contribution de chaque espèce on remarque que les espèces ligneuses qui participent fortement au peuplement ligneux sont constituées dans la majorité par *Guiera senegalensis* (35%), *Piliostigma reticulatum* (26%) et *Combretum micranthum* (13%).

Pour les herbacées, ce sont les espèces telles que *Spermacoce radiata* (14,8%), *Zornia glochidiata* (14,7%), qui sont les plus fréquemment rencontrées.

Cependant, il faut noter que d'un âge à l'autre, il y a de légères différences dans la répartition spécifique. Ainsi, concernant les ligneux, on note une présence abondante de *Guiera senegalensis* (40%), *Piliostigma reticulatum* (40%) et de *Sclerocarya birrea* (7%) dans le zaï 20 ans. Par contre dans le zaï de 21 ans, *Balanites aegyptiaca* (19%) et *Piliostigma reticulatum* (19%) apparaissent avec une forte fréquence. Le zaï de 24 ans est dominé par *Guiera senegalensis* (32%), *Piliostigma reticulatum* (30%) et *Combretum micranthum* (17%). Enfin dans zaï de 30 ans, *Guiera senegalensis* (70%), suivi de *Combretum micranthum* (10%) possède les plus fortes fréquences.

La **Figure 9** donne les fréquences des espèces herbacées dans chaque parcelle de zaï. Dans le zaï de 30 ans, les barres de fréquences présentent de légères variations entre espèces. L'allure de la courbe formée par les barres de fréquence ne présente qu'une légère pente montrant ainsi la présence de quelques espèces plus communes que les autres mais non dominantes. Cette parcelle présente une assez bonne répartition de ces espèces herbacées. Ce qui n'est pas le cas du zaï de 24 et de 21 ans. Dans ces deux cas, on constate une chute brusque des fréquences après les deux premières espèces dans le cas du zaï de 24 ans et après trois espèces dans le cas du zaï de 21 ans. Nous pouvons en déduire que ces espèces sont en

effet les espèces dominantes de ces parcelles. Quant au zaï de 20 ans on constate qu'il contient aussi des espèces dominantes.

Concernant la répartition des fréquences des espèces par âge de zaï, nous constatons que *Spermacoce radiata* (18%), *Zornia glochidiata* (13%), sont les plus fréquemment rencontrées dans le zaï 20 ans. Dans le zaï de 21 ans, *Spermacoce radiata* (24%), *Zornia glochidiata* (24%) sont toujours abondants mais on note l'apparition de *Pennisetum pedicellatum* avec une fréquence de 18% et d'*Andropogon pseudapricus* (6%). Dans le zaï de 24 ans, ce sont toujours les herbacées telles que *Zornia glochidiata* (16%) et *Spermacoce radiata* (15%) qui possèdent les fortes fréquences. Ce n'est cependant pas le cas dans le zaï de 30 ans, où on retrouve plutôt *Andropogon pseudapricus* (16%) et *Bulbostylis hispidula* (12%) comme étant les herbacées les plus fréquemment rencontrées.

Tableau 1. Liste des familles et des espèces ligneuses recensées sur le site

Familles	Espèces	Abbreviations
Anacardiaceae	<i>Lannea microcarpa</i> Engel.et K.Krouse	LAM
	<i>Sclerocaria birrea</i> (A.Rich) Hochst.	SCBI
Balanitaceae	<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Del	BAE
Bignoniaceae	<i>Stereospermum kunthianum</i> Cham.	STK
Capparaceae	<i>Boscia angustifolia</i> A.Rich	BAN
Caesalpiniaceae	<i>Cassia sieberiana</i> Dc.	CSI
	<i>Piliostigma reticulatum</i> (L.) Del.	PRE
Combretaceae	<i>Anogeisus leiocarpus</i> (DC.) Guill.et Perr.	AGS
	<i>Combretum aculeatum</i> Vent.	CMAC
	<i>Combretum glutinosum</i> Perr.ex DC	CGL
	<i>Combretum micranthum</i> G.Don.	CM
	<i>Guiera senegalensis</i> J.F.Gmel.	GSE
Ebenaceae	<i>Diospyros mespiliformis</i> Hochst.ex A.Rich	DIME
Euphorbiaceae	<i>Jatropha gossypifolia</i> Linn.	JGO
Meliaceae	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss	AZIN
Mimosaceae	<i>Acacia macrostachya</i> Reich. ex DC	AM
	<i>Acacia nilotica</i> (Linn.)Will.ex Del	AN
	<i>Acacia polyacantha</i> Willd.	APOL
	<i>Acacia senegal</i> (L.) Willd.	ASE
	<i>Acacia seyal</i> Del.	ASEY
	<i>Dichrostachys cinesia</i> (L.) Wright et Am.	DICI
Olacaceae	<i>Ximenia americana</i> L.	XIA
Papilionaceae	<i>Pterocarpus lucens</i> Lepr.ex Guill.et Perr.	PLU
Rhamnaceae	<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	ZIM
Rubiaceae	<i>Gardenia temifolia</i> Schum.et Thonn.	GAT
Sapotaceae	<i>Vitellaria paradoxa</i> Gaertn.F.	VPA
Tiliaceae	<i>Grewia bicolor</i> Juss.	GBI

Tableau 2. Liste des familles et des espèces herbacées recensées sur le site

Familles	Espèces	Abbreviations
Acanthaceae	<i>Peristrophe bicalyculata</i> (R.)	PEBI
Aizoaceae	<i>Mollugo nudicaulis</i> Lam.	MONU
Amaranthaceae	<i>Achyranthes aspera</i> L.	ACAS
	<i>Celosia argentea</i> Linnaeus	CEAR
Asclepiadaceae	<i>Leptadenia hastata</i> (Pers) Dcre.	LEPH
Asteraceae	<i>Aspilia kotschyi</i> Schultz-Bipontinus ex Hochstter	ASKO
	<i>Bidens pilosa</i> Linnaeus	BIPI
Caesalpinaceae	<i>Cassia nigricans</i> Vahh.	CANI
	<i>Cassia tora</i> L.	CAT
Caryophyllaceae	<i>Polycarphaea corymbosa</i> (L.) Lam.	POCO
Commelinaceae	<i>Cyanotis lanata</i> Benth	CYLA
Convolvulaceae	<i>Evolvulus absinoides</i> L.	EVOAB
	<i>Ipomoea eiocarpa</i> R.Brown	IPEI
Cyperaceae	<i>Bulbostylis hispidula</i> (Vahl.) Haines	BUHIS
Euphorbiaceae	<i>Phyllanthus amarus</i> (L.)	PHA
	<i>Phyllanthus maderaspatensis</i> (L)	PHM
Fabaceae	<i>Alysicarpus rugosus</i> (Willdenow) de candolle	ARU
	<i>Crotalaria retusa</i> Linnaeus	CRORE
	<i>Indigofera capitata</i> Kotsch	INCA
	<i>Indigofera dendroides</i> Jacq	INDE
	<i>Indigofera stenophylla</i>	INST
	<i>Stylosanthes mucronata</i> Willd.	STM
	<i>Tephrosia bracteolata</i>	TEBR
	<i>Zomia glochidiata</i> Reichb.EXD.C.	ZORG
Malvaceae	<i>Sida alba</i> L.	SIAL
Pedalaliaceae	<i>Ceratotheca sesamoides</i> Endl.	CESE
Poaceae	<i>Andropogon gayanus</i> Kunth	ANG
	<i>Andropogon pseudapricus</i> Stapf.	APS
	<i>Aristida adscensionis</i> L.	AAD
	<i>Bracharia lata</i> (Schum.) Hubb.	BRLA
	<i>Bracharia villosa</i> (Lamarch) A. Camus	BRVI
	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) P.Beauv.	DACAE
	<i>Digitaria horizontalis</i> Wild	DIHO
	<i>Eragrostis tremula</i> Hochst.Ex.Steud	ETR
	<i>Heteropogon</i> sp	HETE
	<i>Microcloa indica</i> (L.) P. Beauv.	MIIN
	<i>Pennisetum pedicellatum</i> Trin.	PEPI
	<i>Rottbollia cochinchinensis</i> (L.)	ROTCO
	<i>Schoenefeldia gracilis</i> Kunth.	SCHG
	<i>Setaria pallide-fusca</i> (Schum.) Stapf et Hubb.	SEPA
<i>Sporobolus festivus</i> Hochstetter ex A. Richard	SPOFE	
Polygalaceae	<i>Polygala erioptera</i> DC	POLYE
Rubiaceae	<i>Borreria filifolia</i> (Serth) K. Schun	BOFI
	<i>Mitracarpus villosus</i> (Swartz) de candolle	MIVI
	<i>Oldenlandia corymbosa</i> L.	OLCO
	<i>Spermaceoce radiata</i> (de candolle) sieber ex Hiern	SPRA
Sterculiaceae	<i>Waltheria indica</i> L.	WALIN
Tiliaceae	<i>Corchorus tridens</i> L.	COTR
	<i>Triumpheta pentandra</i> A.Rich.	

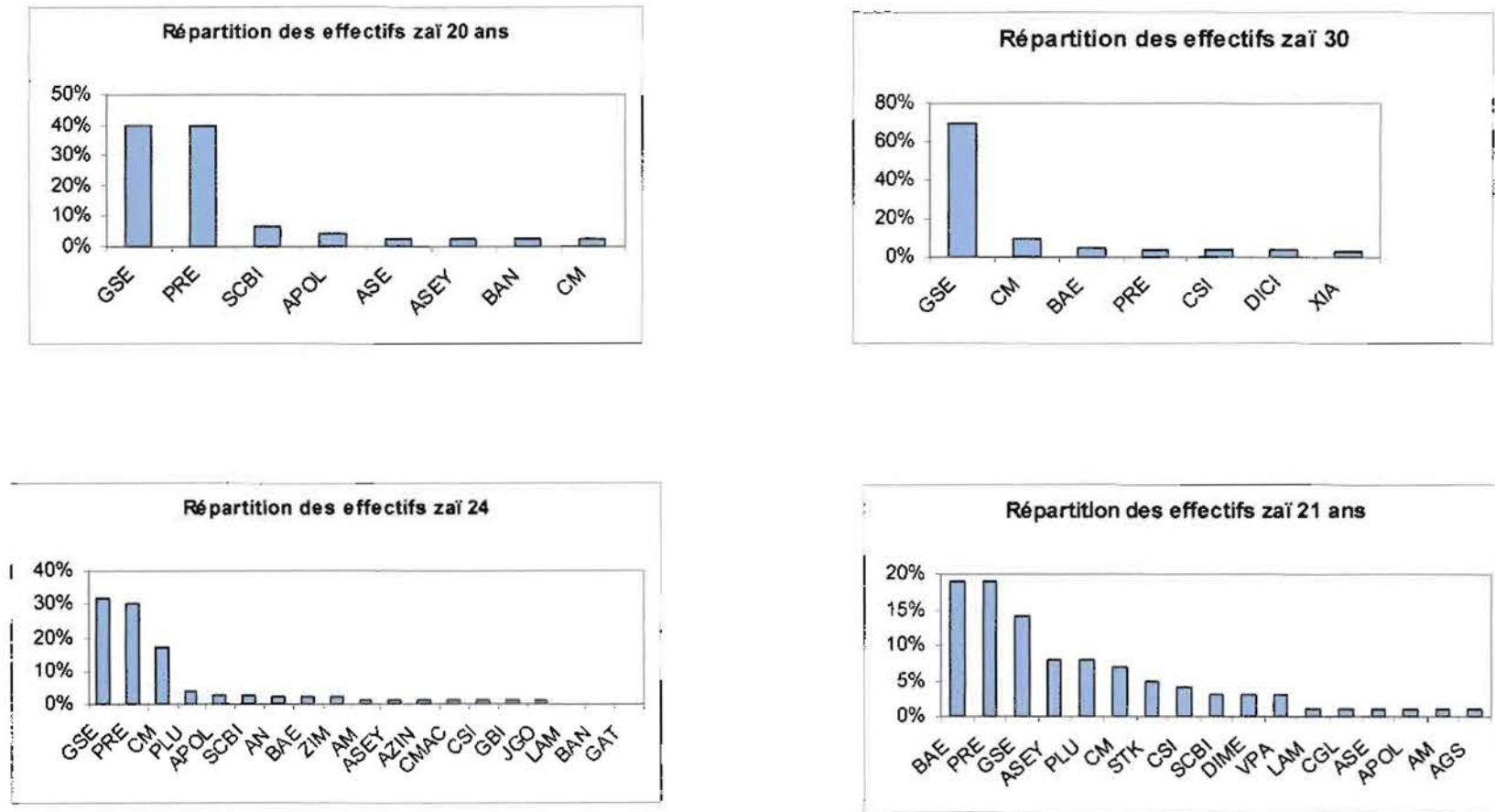


Figure 8. Répartition des effectifs des espèces ligneuses dans les différents zaï forestiers (liste des abréviations utilisées sur le Tableau 1).

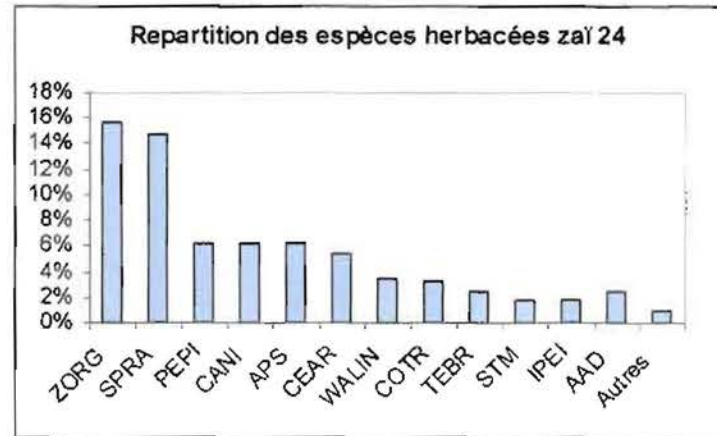
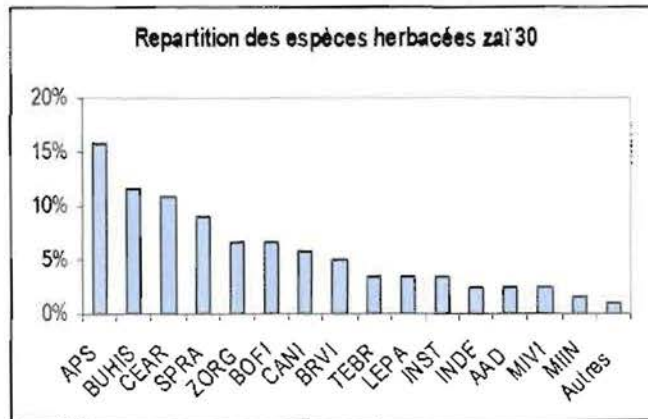
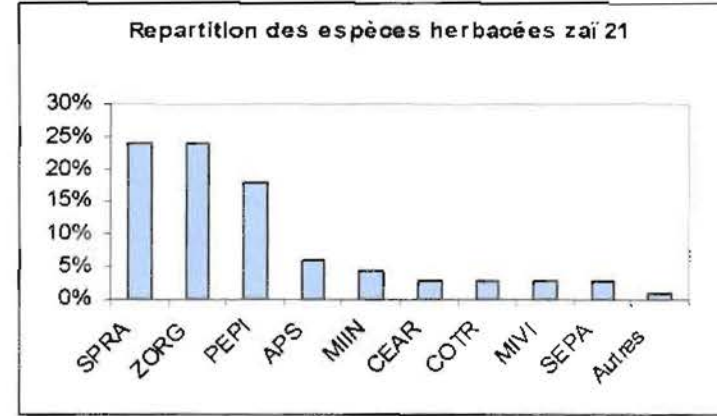
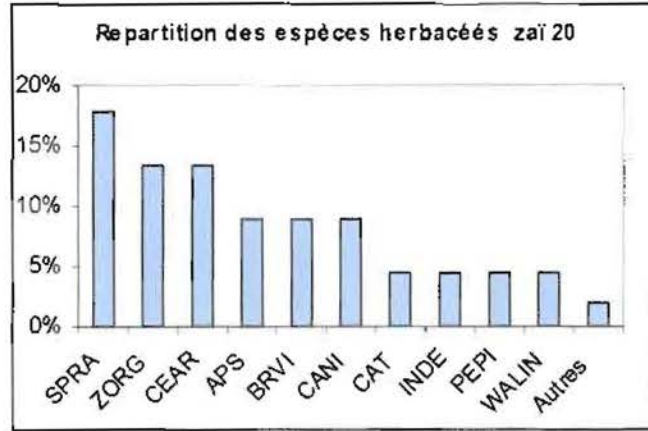


Figure 9. Répartition des effectifs des espèces herbacées dans les différents zaï forestiers (la liste des abréviations utilisées sur le Tableau 2)

3.1.1.3. Richesse spécifique

La diversité spécifique (nombre total d'espèces) a été déterminée à partir des nombres d'espèces observées et théoriques. A cet effet, deux estimateurs non paramétrique Chao et Jackknife (Chadzon *et al.*, 1998, Chao 1984) ont été utilisés pour estimer la diversité spécifique théorique des arbres et des herbacées. Pour l'analyse de la diversité spécifique des ligneux et des herbacées, nous avons utilisé les formules corrigées de Chao 1 et Chao 2 (sans biais).

Les coefficients de variation (CV) estimé de Chao sur la distribution d'apparition ou fréquence d'apparition sont de 0,504 pour les ligneux et de 0,572 pour les herbacées. Ces deux coefficients de variation sont supérieurs à 0,5. Par conséquent, Anne Chao recommande d'utiliser Chao 2 classique, au lieu de la formule corrigée. Basées sur la formule classique, les richesses spécifiques (basées sur la présence/absence) les plus élevées de Chao 2 et l'incidence (ICE) sont considérées.

Les résultats des analyses sont consignés dans le **Tableau 3**:

Tableau 3. Résultat de l'analyse des estimateurs de richesse spécifique

		Estimateurs de richesse spécifique			
	Espèces observées	Chao 1	Chao 2	Jack 1	Jack 2
Ligneux	27	27,64 ± 1,12	30 ± 3,24	32,96 ± 3.41	33 ± 0
Herbacées	50	55,5 ± 4,39	55,5 ± 4,39	60,92 ± 3.47	61 ± 0

Les résultats de l'analyse des estimateurs de richesse spécifique donnent une variation de 3 à 6 espèces ligneuses entre le nombre exacte d'espèces ligneuses observées et le nombre théorique d'espèces calculées. Pour les herbacées, la variation est de 5 à 11 espèces.

Ces résultats montrent que dans le cas des herbacées, l'utilisation d'estimateurs de richesse spécifique est beaucoup plus indiquée. A défaut, de cela, il faudrait prendre en compte les espèces de parcours car il existe un grand écart entre le nombre d'espèces échantillonnées et le nombre potentiel d'espèces existant dans le milieu.

3.1.1.4. Evolution de la richesse spécifique selon les âges

La Figure 10 présente l'évolution de la richesse spécifique moyenne par 9 m² pour la strate ligneuse. On constate une diversité spécifique élevée au niveau des parcelles de zaï 20 ans et 21 ans, suivie de la parcelle de 24 ans. La parcelle de zaï de 30 ans possède la plus faible diversité spécifique. L'analyse statistique (test de Fisher) de la diversité spécifique ne montre pas de différence significative entre les zaï de 20 ans, 21 ans, et 24 ans. Par contre le test est significatif entre les zaï 20 ans, 21 ans, 30 ans et le zaï de 30 ans pour une probabilité $p < 0,005$.

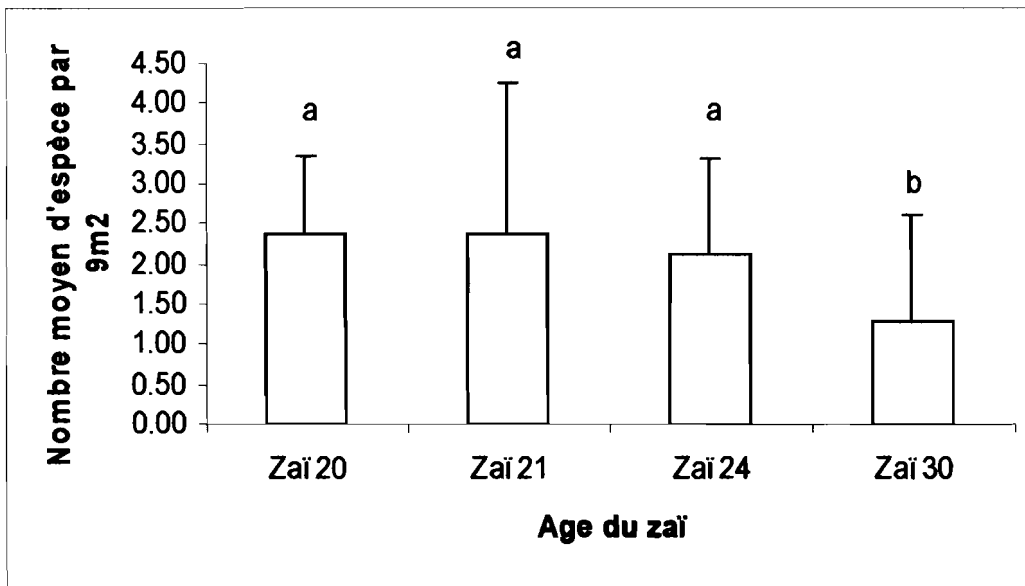


Figure 10. Evolution de la diversité spécifique moyenne par 9 m² et par âge du zaï (strate ligneuse)

La Figure 11 montre l'évolution de la richesse spécifique moyenne par 0,25 m² pour la strate herbacée. La parcelle de 24 ans possède la plus forte diversité herbacée, suivie de celle de 20 ans et de 30 ans. Le zaï de 21 ans quant à lui a aussi une diversité herbacée élevée.

D'après le test de comparaison de variance de Fisher au seuil de 5%, la seule différence significative se situe entre le zaï de 24 ans et celui de 21 ans pour une probabilité $p < 0,001$.

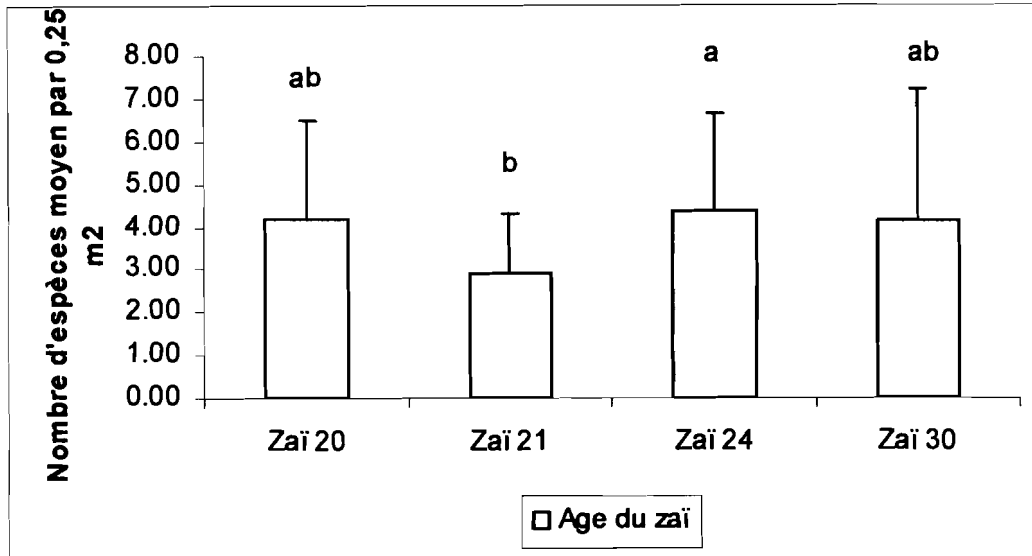


Figure 11. Evolution de la diversité spécifique moyenne par 0.25m² et par âge du zaï (strate herbacée).

3.1.1.5 Biomasse herbacée et taux de recouvrement

Tableau 4. Répartition de la biomasse herbacée et du taux de recouvrement moyen par parcelle de zaï (les données de biomasse suivies de lettres identiques signifient une différence non significative au seuil de 0,05)

Age du zaï	Zaï 20	Zaï 21	Zaï 24	Zaï 30
Biomasse herbacée (g/9m ²)	403,2 a	370,8 a	288,0 a	295,2 a
Taux de recouvrement moyen (%)	23%	29%	29%	13%

La biomasse produite par parcelle varie de 288 g à 403,2 g ms/9m². Elle est plus importante dans les âges 20 ans (403,2 g/ 9m²) et 21 ans (370,8 g/ 9m²). Par contre, elle est faible au niveau des parcelles 24 ans (288 g/9m²) et 30 ans (295,2g/9m²). Cependant, l'analyse de variance (test de Fisher ne révèle aucune différence significative entre les différents âges.

Par ailleurs, il faut noter que le zaï 30 ans a une histoire assez particulière. En plus d'être la toute première parcelle ayant connu la pratique du zaï, elle est aussi la seule parcelle

ayant connu le passage du feu quelques années après son installation. Toute porte à croire que le feu a eu comme impact le recul de la strate ligneuse au profit de la strate herbacée.

La surface de recouvrement varie de 13% à 29% avec les plus forts taux de recouvrement au niveau de 21 ans et 24 ans et le plus faible dans le zaï de 30 ans.

3.1.1.6 Evolution des surfaces basales

Le **Tableau 5** ci-dessous donne les valeurs des densités moyennes des ligneux (m^2/ha) et des surfaces moyennes basales (somme des sections à la base).

Tableau 5. Evolution des surfaces basales et de la densité ligneuse par hectare des **parcelles** de zaï (les données suivies de lettres identiques signifient une différence non significative au seuil de 0,05).

Age du zaï	Zaï 20	Zaï 21	Zaï 24	Zaï 30
Surface basale (m^2/ha)	17,2 a	17,5 a	20,7 a	9,2 a
Densité (nombre d'individus/ha)	4848 a	3586ab	4337 a	2682 b

On observe une densité élevée au niveau des parcelles de 20 ans (4848 individus par ha) et dans les 24 ans (4337 individus par ha). Par contre, pour la surface basale, on note une évolution en fonction de l'âge du zaï, avec toutefois, une baisse au niveau du zaï de 30 ans où l'on enregistre la surface basale la plus faible. L'analyse statistique ne révèle cependant pas de différences significatives au niveau de la surface basale entre les différents âges. Par contre, la densité ligneuse diminue significativement entre le zaï de 20 ans et celui de 30 ans (pour une probabilité $p < 0,05$).

3.1.1.7. Evolution de la litière

La litière constitue la masse végétale provenant des feuilles, branches et tiges encore peu transformées qui recouvrent le sol (Mangenot, 1980). Elle est importante dans les systèmes de cultures en tant que source potentielle de nutriments (Musvoto *et al.*, 2000).

La **Figure 12** indique que son importance décroît selon l'âge du zaï, d'environ 50 g/m^2 dans le zaï de 20 ans, pour environ 15 g/m^2 dans le zaï de 30 ans.

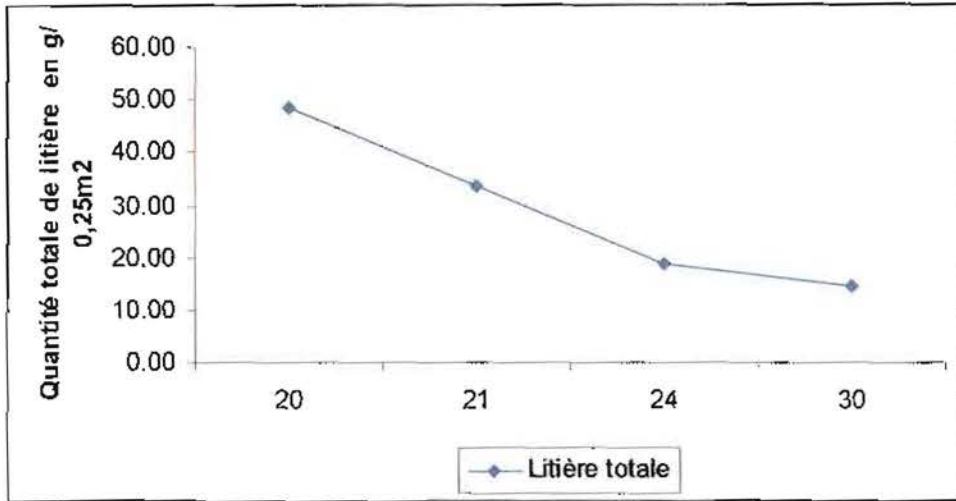


Figure 12. Evolution de la litière totale en fonction des âges du zaï (g/m^2)

La **Figure 13** indique que les principales composantes de la litière sont les feuilles, suivies des rameaux. Les autres composantes (herbes, graines) sont en quantité réduite. De plus, les quantités les importantes de feuilles s'observent dans les zaï 20 ans (34 g) et 21 ans (23,5 g).

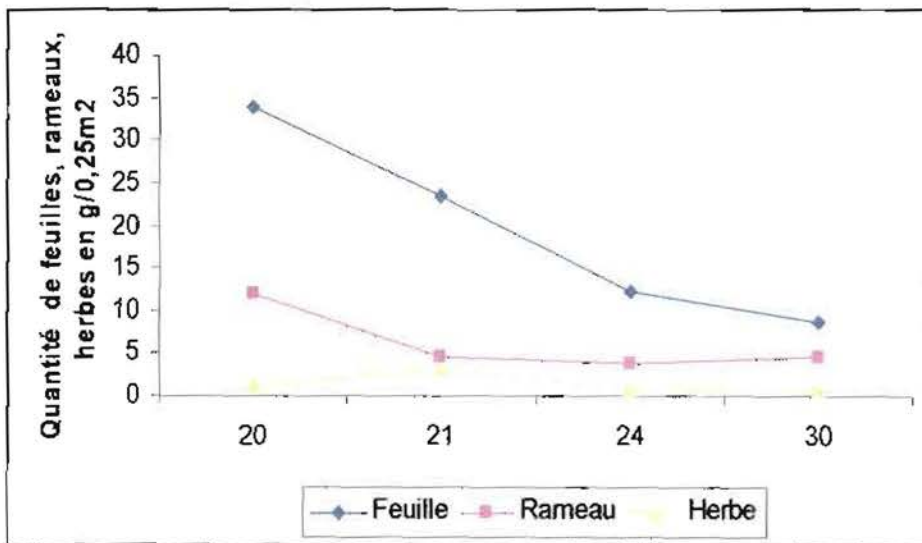


Figure 13. Evolution des différentes composantes de la litière selon les âges du zaï

3.1.2. Discussion sur l'étude de la végétation

3.1.2.1 Diversité floristique

La végétation de la zone d'étude présente une diversification assez importante de sa composante floristique : au total, 77 espèces végétales ont été recensées, soit 27 espèces ligneuses et 50 espèces herbacées.

Les fréquences d'espèces ligneuses et herbacées montrent la présence d'espèces communes à toutes les parcelles de zaï (Figures 7 et 8). Il s'agit de *Piliostigma reticulatum*, *Guiera senegalensis* et *Combretum micranthum* pour les ligneux et de *Zornia glochiata*, dans le cas des herbacées. L'abondance de ces espèces légumineuses arbustives consommées par le bétail comme c'est le cas des espèces herbacées fourragères, font penser que leurs semences seraient apportées par les déjections animales utilisées dans la fertilisation des trous de zaï agricoles. De nombreux auteurs (Roose *et al.*, 1990 ; Sangaré, 2002) étaient arrivés à cette conclusion.

Concernant le nombre d'espèces échantillonné, nos valeurs sont supérieures aux valeurs trouvées lors d'autres études. Zombré *et al.* (1999), par exemple, avaient trouvé seulement 62 espèces sur les parcelles aménagées en zaï. Sangaré (2002) avait aussi obtenu des valeurs inférieures aux nôtres (56 espèces végétales). Cependant, nos résultats sur la diversité ligneuse sont inférieurs à ceux de Lagemvaré (2003) qui avait recensé 54 espèces ligneuses. Ces valeurs plus faibles sont dues à la non prise en compte des espèces de parcours dans notre échantillonnage. Par ailleurs, le calcul théorique de la richesse spécifique (Tableau 3), par le logiciel EstimateS 8.00 (Colwell 2006) donne des valeurs qui se rapprochent et sont souvent même supérieures aux résultats d'autres études (Sangaré, 2002). La richesse floristique, les estimateurs non paramétriques (Chao et Jackknife) peuvent être utilisés, puisqu'ils donnent une vue assez réelle de la diversité potentielle ligneuse et herbacée du milieu.

3.1.2.2. Evolution de la diversité spécifique de la densité ligneuse selon l'âge de la jachère

La richesse spécifique n'évolue pas en fonction de l'âge de la jachère. Les plus vieilles parcelles ne sont pas forcément les plus riches en termes de nombre d'espèces. L'âge n'est donc pas le seul facteur pouvant expliquer l'hétérogénéité observée au niveau de ce zaï forestier. D'autres facteurs peuvent jouer un rôle dans l'espace et dans le temps dans

l'installation de cette hétérogénéité. Mitja (1990) était arrivée à la même conclusion dans l'étude du mode de reconstitution de la végétation des jachères en Côte d'Ivoire. Selon elle, il n'y avait pas de liaison nette entre l'âge et la richesse floristique. Ces conclusions sont en conformité avec les nôtres. En outre, on constate aussi une présentation assez particulière du zaï 30 ans. Dans tous les paramètres mesurés (richesse spécifique, biomasse herbacée, surface basale, densité ligneuse) les valeurs sont les plus faibles. Cela peut être dû à son histoire un peu particulière par rapport à celle des autres parcelles. En effet, selon le propriétaire des lieux (Mr Sawadogo), cette parcelle a été soumise à un feu accidentel, ce qui l'aurait découragé d'entretenir cette parcelle. Il se serait alors déplacé sur la parcelle âgée maintenant de 24 ans pour continuer son travail.

Par conséquent la parcelle de 30 ans, la plus âgée, aurait été abandonnée précocement à ses débuts. De plus, le feu aurait eu un impact sur son évolution. En effet, des effets directs du feu sur les sols existent à cause des températures élevées atteintes en surface et dans les horizons superficiels (Masson, 1949 ; Louppe, 1996). Ces effets sont, entre autres, la destruction de la pédofaune et de la biomasse microbienne, ce qui réduit l'activité biologique des sols et perturbe le processus d'humification (Louppe *et al.*, 1998). Par conséquent, la reprise de la végétation a été en plus rendue difficile à cause des conditions édaphiques et de la situation topographique de la parcelle, qui n'étaient pas très favorables.

3.1.2.3. Interaction arbres/herbes

La quasi-totalité des systèmes écologiques est caractérisée par la coexistence de l'arbre et de l'herbe ; cela démontre l'importance de l'étude de leurs interactions mieux comprendre leur fonctionnement et leur dynamique.

L'analyse des travaux fait apparaître qu'en général, l'arbre améliore les conditions du milieu. Sous les climats à très forte contrainte hydrique, de nombreux auteurs (Grouzis *et al.*, 1991 ; Akpo, 1993) rapportent des effets essentiellement positifs des arbres sur la strate herbacée. Selon ces auteurs, l'arbre modifie la structure spécifique de la végétation en modifiant la composition floristique et en augmentant significativement la richesse floristique. Cependant, nos résultats prouvent le contraire. En effet, on observe plutôt une baisse tendancielle de la biomasse herbacée (**Tableau 2**) et de la diversité spécifique (**Figure 10**) avec le temps, On constate aussi une augmentation de la surface basale des ligneux avec l'âge du zaï. Cela voudrait donc dire que plus les arbres grandissent plus ils inhibent la production de la strate herbacée en interceptant une bonne partie du rayonnement absorbable.

L'éclaircissement devient ainsi le facteur limitant de la production de la biomasse herbacée. De nombreux auteurs ont soutenu cette hypothèse. Mitja (1990) estime que lorsque l'âge de la jachère augmente, on constate une diminution du nombre d'individus, du nombre de troncs, une augmentation de la surface terrière. La biomasse herbacée quant à elle, diminuerait en raison de la compétition avec les ligneux (Knoop and Walker, 1985)

3.2. Etude de l'activité de la macrofaune du sol (termites)

3.2.1. Poids des placages à la surface du sol

La récolte de placages (Figure 14) révèle une plus grande activité termitique au niveau du zaï 24 ans et 20 ans. Le zaï 21 ans a une activité moins grande que les deux autres (24 ans et 20 ans) mais l'activité reste toujours élevée par rapport au zaï 30 ans.

L'activité termitique se manifeste dans les parcelles qui possèdent une forte densité des ligneux (20 ans) et une grande surface basale (24 ans). L'analyse de variance ne montre pas de différence significative entre les âges du zaï, compte tenu de la très grande variation des valeurs mesurées.

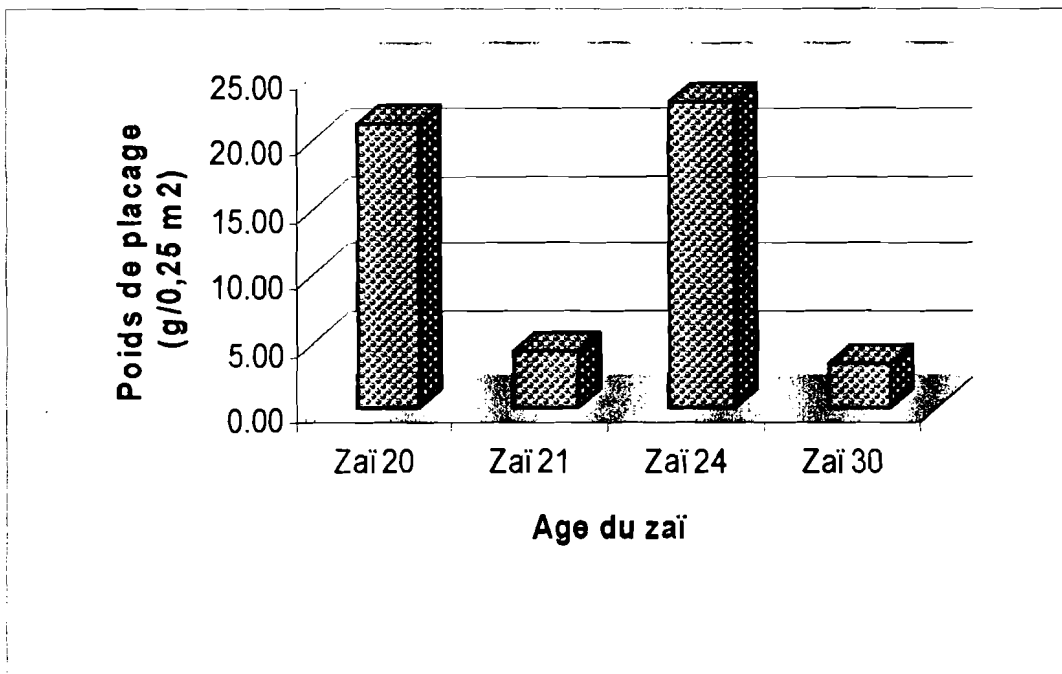


Figure 14. Poids de placage relevés par parcelle de zaï

Ces valeurs relevées représentent, si on les extrapole, un poids de structures biogéniques amenées à la surface du sol qui varie de 140 à 917 g/ha.

3.2.2. Relevé des sorties de récolte

La **Figure 15** montre l'évolution des trous de récolte des termites selon l'âge des parcelles de zaï. On constate que le zaï de 21 possède le plus grand nombre d'orifices de sorties de récolte des termites, alors que ce milieu montrait, au contraire, un plus faible poids des placages construits (**Figure 14**).

Ceci confirme que cette parcelle de zaï 21 est soumise à des perturbations, car la parcelle est traversée par un chemin emprunté par les personnes et aussi par le bétail (cf. A1-A2 sur la **Figure 5**). On peut supposer que le piétinement entraîne la destruction des placages de terre des termites.

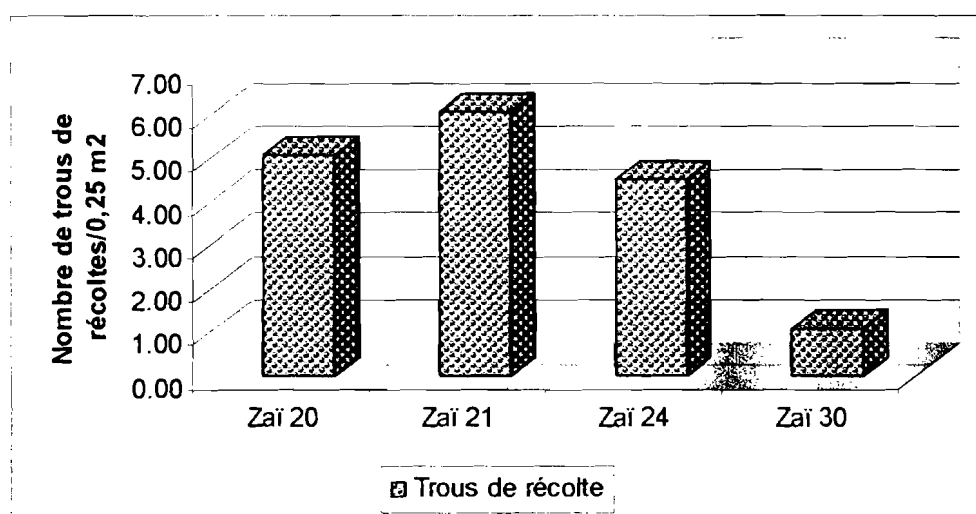


Figure 15. Nombre de sorties de récolte des termites selon les parcelles de zaï (N/0,25 m²)

Ces estimations, extrapolées à l'échelle du m², nous donnent un nombre de sorties de récolte moyen de 4 à 24/m², soit 40 000 à 240 000/ha de milieu. Ceci démontre l'importance de ces structures dans la porosité des horizons superficiels du sol et le rôle qu'elles peuvent jouer dans l'infiltration des eaux de pluie. D'autant plus que la période échantillonnée correspond à une période de faible activité des termites.

3.2.3. Discussion sur l'impact des termites sur le sol

Les termites exercent une influence profonde sur leur environnement. Nous avons étudié l'impact de ces organismes par la quantification des structures biogéniques (placages) qu'ils

édifient et par le comptage du nombre de trous qu'ils creusent à la recherche de leur nourriture.

Le poids de placage par unité de surface permet d'évaluer la masse de terre transportée par les termites et qui sera ensuite redistribuée et incorporée au sol lors des pluies.

Le comptage du nombre de trous indique l'influence des termites sur la porosité du sol, leur effet bénéfique sur l'infiltration de l'eau.

Nous obtenons, pour les placages des poids variant entre 140 à 917 g/ha et 40 000 à 240 000 trous / ha. Nos résultats comparés à d'autres études montrent des valeurs faibles. En effet, David (2003) avait obtenu des poids de placage variant de 3,11 à 9,7 tonnes et 250 trous /m² soit 2 500 000 trous /ha. Rouland et *al.*, (2003) avait trouvé 113 trous /m². Nos faibles valeurs obtenues pourraient s'expliquer par le fait que nos prélèvements ont été effectués tout juste après la fin de la saison pluvieuse (octobre 2006) tandis que ceux de David (2003) se sont déroulés à la fin de la saison sèche. Cela nous conduit à dire qu'il existe des périodes de fortes et de faibles activités des termites.

De nombreux auteurs à travers des études précédentes ont montré l'impact des termites dans la structure et les propriétés hydrauliques du sol. Ils ont un effet, sur la structure micromorphologique et la stabilité des agrégats du sol par leurs activités de construction de nids (Eschenbrenner, 1986). Les travaux de Mando (1997) ont confirmé, l'impact des termites sur l'équilibre hydrique et le drainage de l'eau. Selon lui, l'activité de récolte des termites a pour conséquence la création de réseaux dense de galeries qui sont connectées à la surface du sol par des trous par lesquels l'eau peut pénétrer. Ces galeries influencent aussi l'aération et permettent le mouvement des matériaux du sol.

3.3. Etude du sol

Le sol est un des compartiments essentiels de l'écosystème, agissant comme contrôleur et révélateur de nombreux processus écologiques, par ses caractéristiques physiques chimiques et biologiques à court et à long terme (Gobat *et al.*, 1998). Par conséquent, l'étude du sol est donc nécessaire pour comprendre certains processus écologiques. Cette étude a concerné :

- la topographie des lieux .Cela a permis de faire une description exacte et une délimitation des caractéristiques de la forêt, et aussi une connaissance de la variation des pentes.
- le creusement et la description des fosses le long des toposéquences ;
- des analyses physico-chimiques et microbiologiques des sols.

3.3.1. Les sols du site d'étude

Les sols décrits sont de trois types : sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches de concrétions ; sols ferrugineux tropicaux lessivés moyennement profonds ; sols ferrugineux tropicaux lessivés peu profonds.

- Sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches de concrétions (Annexe 3)

Ils sont observés au niveau du zaï de 24 ans dans les transects Nord et Sud. Ces sols sont de couleur brun rougeâtre à rouge à l'état sec ; à l'état humide, ils sont rouge foncé à brun rougeâtre foncé. Les textures varient de limono-sableux à limono-argileux ou argileux pour le transect Nord, à limoneux ou argileux pour le transect Sud.

L'activité biologique y est très développée et on y trouve de très nombreuses racines.

La capacité d'échange cationique et la somme des bases échangeables sont faibles et les rapports $C/N \leq 14$ dénotent d'une bonne minéralisation de la matière organique. La disponibilité en eau pour les plantes, calculée à l'aide de pF3 et pF4, 2, montre, une variation en fonction de la profondeur et de la teneur en argile. Les valeurs obtenues sont très faibles et varient de 0,2 mm/cm de sol à 6,4 mm/cm pour le zaï de 24 ans. Ces sols sont acides et l'horizon de surface est recouvert d'éléments grossiers (graviers ferrugineux).

- Sols tropicaux lessivés moyennement profonds (Annexe 4)

Ce type de sol appartient au zaï le plus jeune (14 ans). De texture limono-sableuse ou limono-argileuse à argileuse, les sols sont rouge jaunâtre ou rouge à l'état sec, et brun rougeâtre foncé à l'état humide L'activité biologique y est bien développée avec de

nombreuses racines très fines. Le taux de graviers ferrugineux est faible, variant entre 30 % et 50 %. La capacité d'échange cationique, la somme des bases échangeable et la réserve utile sont aussi faibles, attestant une faible activité des particules argileuses tandis que les rapports C/N varient de 10 à 13. Ces sols sont acides avec un pH variant de 5,76 à 5,81.

- Sols ferrugineux tropicaux lessivés peu profonds (Annexe 6)

Ces types de sols sont localisés en haut de pente dans la parcelle de 30 ans. Les sols sont de couleur brun rougeâtre à rouge jaunâtre à l'état sec et brun rougeâtre à l'état humide. La texture varie de limoneux à limono-argileux selon la profondeur. L'activité biologique est bien développée. On note aussi la présence de nombreuses racines très fines. Cependant, l'épandage de nombreux graviers et cailloux en surface est très marqué. Le taux de graviers et cailloux ferrugineux varie en effet de 60 à 70 %. De plus, la carapace ferrugineuse à cimentation induration moyenne apparaît précocement à 37 cm. L'érosion en nappe y est également très forte.

Concernant la capacité d'échange cationique, la somme des bases échangeables et la réserve utile, les valeurs sont très faibles par rapport aux autres sols. Le rapport $C/N \leq 14$ atteste d'une bonne minéralisation de la matière organique.

Ces résultats obtenus montrent en effet dans l'ensemble que la réserve utile du sol varie en fonction de la profondeur et de la proportion d'argile et de limons du sol. Or, la proportion d'argile influence la formation du complexe argilo-humique, la capacité d'échange, la teneur en eau et la profondeur d'enracinement (Gobat *et al.*, 1998). Nous déduisons alors que la disponibilité en eau du sol dépend de sa capacité de rétention. Les paramètres impliqués sont la texture et la teneur en matière organique. De plus, sur ces sols étudiés, le déficit hydrique est fréquent, dû à leur faible teneur en matière organique d'une part et à la texture moyenne grossière de l'horizon de surface, d'autre part. Cependant, d'une situation à l'autre, c'est-à-dire d'un âge à l'autre, des différences apparaissent, montrant ainsi une dynamique et une hétérogénéité des milieux.

3.3.2. Caractéristique physico- chimique des sols du site

3.3.2.1 Analyse granulométrique des échantillons du sol (0-5 cm et 5-10 cm)

3.3.2.1.1. Charge graveleuse selon les âges du zaï

Les gravillons (> 2 mm) ont été extraits et leur pourcentage calculé par rapport au pourcentage de terre fine. Les résultats sont présentés sur le **Tableau 6**.

Tableau 6. Analyse de la charge graveleuse des sols au tamis de 2 mm

Age	Proportion de gravillons (%)	
	0-5 cm	5-10 cm
14 ans	23,4	30,2
20 ans	62,5	64,0
21 ans	14,8	14,9
24 ans	39,5	47,2
30 ans	65,3	70,4

Les proportions de gravillons et de terre fine ont été déterminées à partir des échantillons prélevés dans les petits carrés de (0,5 × 0,5 m). Les résultats montrent que le zaï de 30 ans et de 20 ans possèdent les plus forts pourcentages en gravillons dans les deux horizons du sol. Par contre les zaï 21 ans et 14 ans et 24 ans ont des valeurs plus faibles.

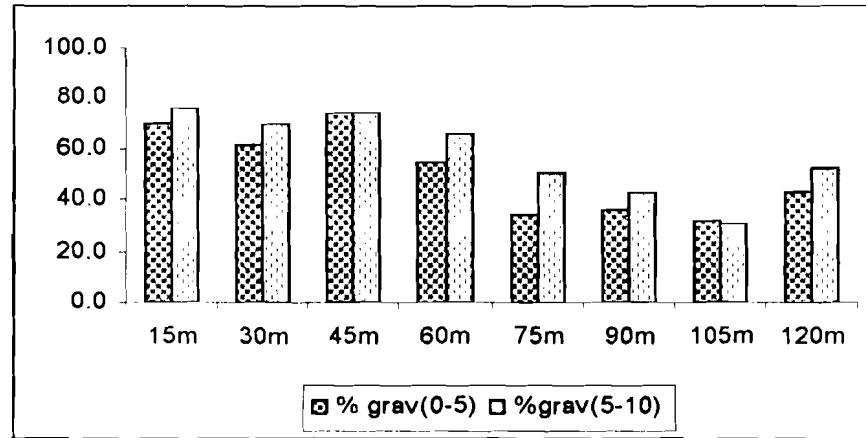
3.3.2.1.2. Charge graveleuse selon les transects échantillonnés

La **Figure 16** présente l'évolution de la charge graveleuse des échantillons de sols prélevés dans les carrés de 0,25 m² le long des quatre toposéquences échantillonnées. Les résultats ont été regroupés par 15 m (soit par 5 carrés). Les distances sont calculées à partir du haut de la toposéquence.

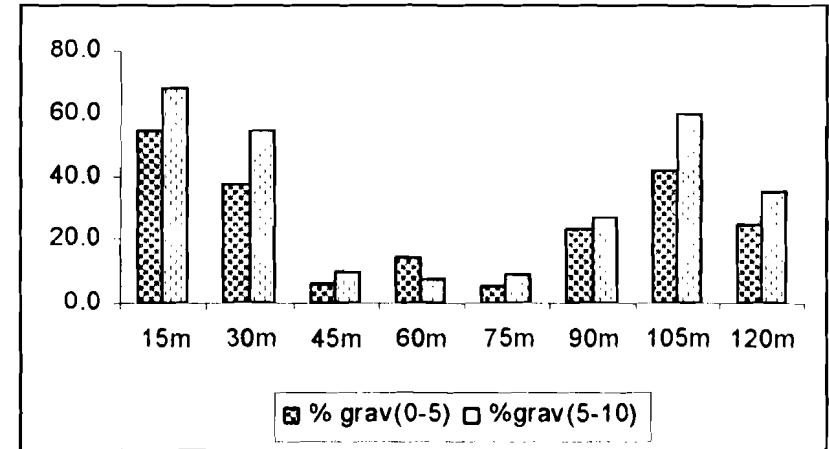
On remarque que la charge graveleuse est généralement supérieure dans l'horizon 5-10 cm par rapport à l'horizon 0-5 cm. Les sols de haut de pente (0-30 m) sont les plus chargés en gravillons, de 60 à 70% en poids.

De manière générale, ce pourcentage de gravillons décroît avec la pente. Mais ce schéma n'apparaît clairement que pour le transect Nord, et dans une moindre mesure, pour le transect Est. Dans certains cas (transect Sud), la charge graveleuse décroît avec la pente, pour augmenter ensuite. Quant au transect Ouest, la charge graveleuse reste pratiquement constante tout au long du transect.

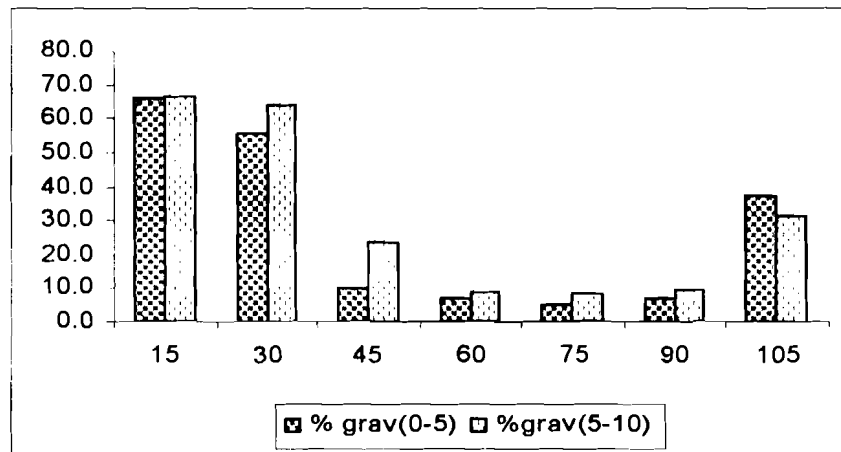
De grandes variations existent donc, pouvant influencer sur la végétation, étant donné que le poids et le volume des gravillons peuvent influencer sur la réserve utile du sol.



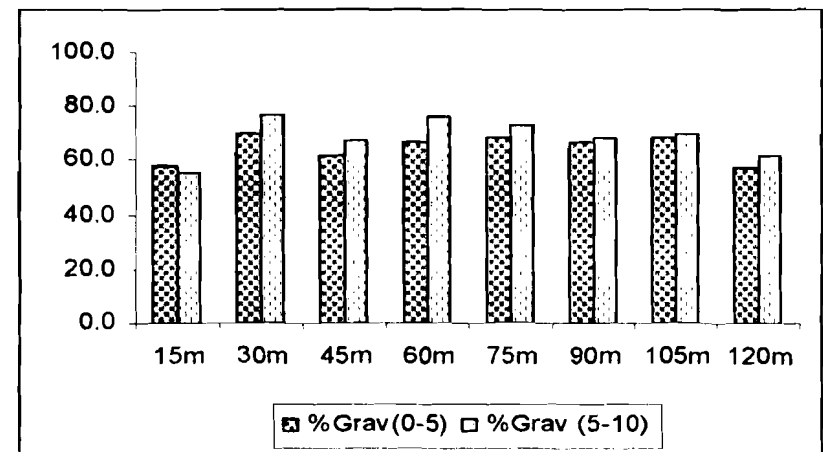
Transect Nord



Transect Sud



Transect Est



Transect Ouest

Figure 16. Charge graveleuse des transects échantillonnés, résultats regroupés par 5 carrés (par tranche de 15 m) (données en pourcentages de poids)

3.3.2.1.3. Variation de la texture des sols (granulométrie cinq fractions)

- horizon 0-5 cm

Il ressort des analyses granulométriques (**Figure 17**) que les sols présentent dans l'ensemble une faible proportion en éléments fins : la teneur en argiles varie de 12 à 20 % et celle des limons fins de 6 à 10,29 %. Par contre, une forte proportion d'éléments grossiers est observée. Les limons grossiers varient entre 32,56 % et 42,45 % et les sables grossiers de 18,38 % à 30 %.

L'analyse statistique révèle que le taux d'argile dans le zaï de 20 ans est significativement différent de celui du zaï de 24 ans, de 21 ans et de 14 ans ($p < 0,05$). Le test de Fisher est également significatif pour les proportions de sables fins et de sables grossiers. Quant aux limons fins et limons grossiers, l'analyse de variance ne donne aucune différence significative entre les différents âges.

- horizon 5-10 cm

La **Figure 18** montre une forte proportion des éléments grossiers (limons grossiers, sables fins, sables grossiers). Par contre, par rapport, à l'horizon (0-5 cm), la proportion des éléments fins (argile) passe de 12,2 % à 37% dans l'horizon (0-5 cm) à 13,85 % à 24,4% dans l'horizon (5-10 cm), soit une légère augmentation. Quant à la répartition par âges, on constate une différence significative entre le zaï de 24 ans et celui de 20 ans ($p < 0,05$). Les autres parcelles de zaï, 14 ans, 21 ans et 30 ans, présentent à peu près les mêmes proportions.

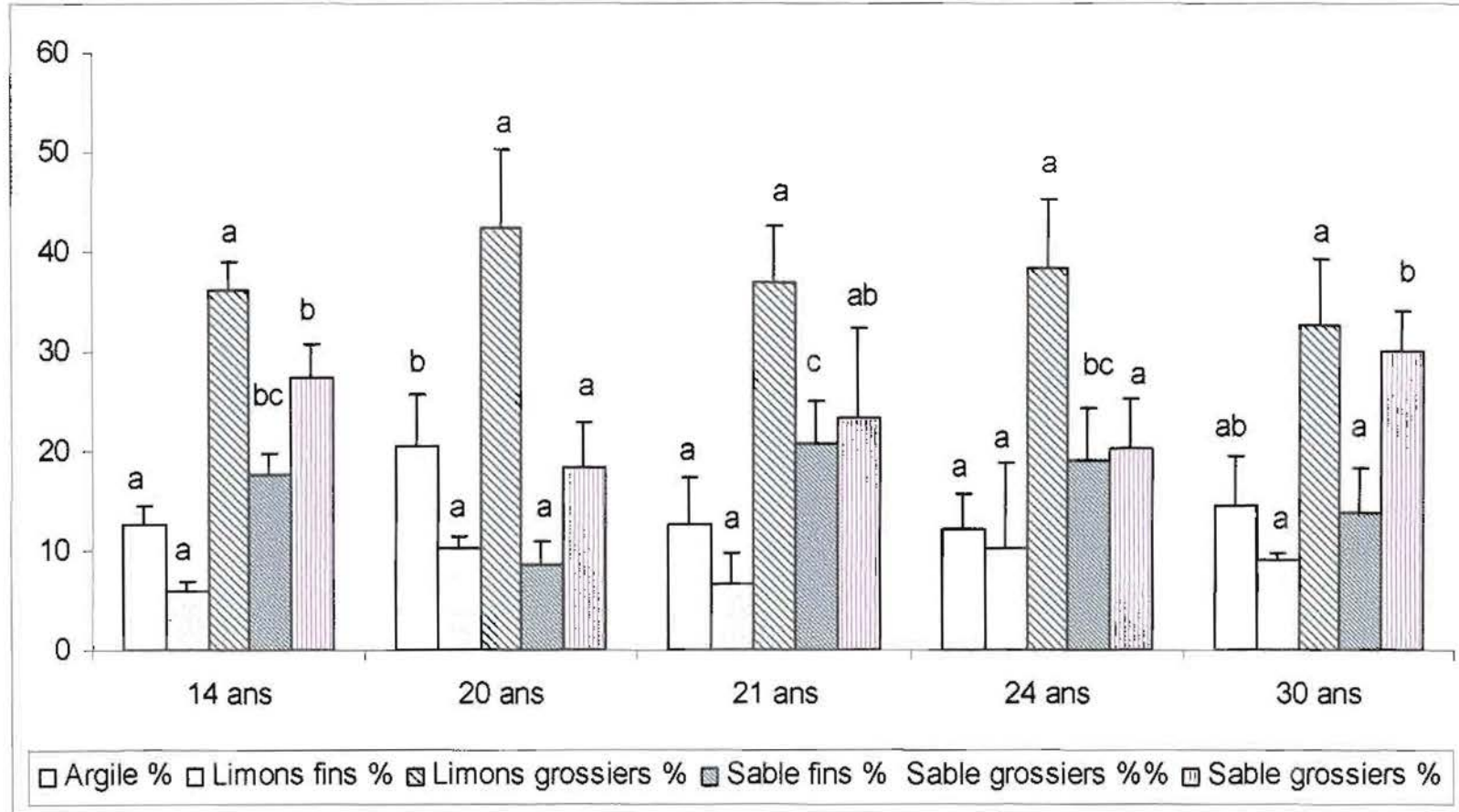


Figure 17. Analyse granulométrique de l'ensemble des échantillons prélevés dans l'horizon (0-5 cm)

(Les barres d'erreur représentent l'écart type des valeurs. La différence significative entre deux moyennes est marquée par des lettres différentes selon le test de Fisher ($p < 0,05$).

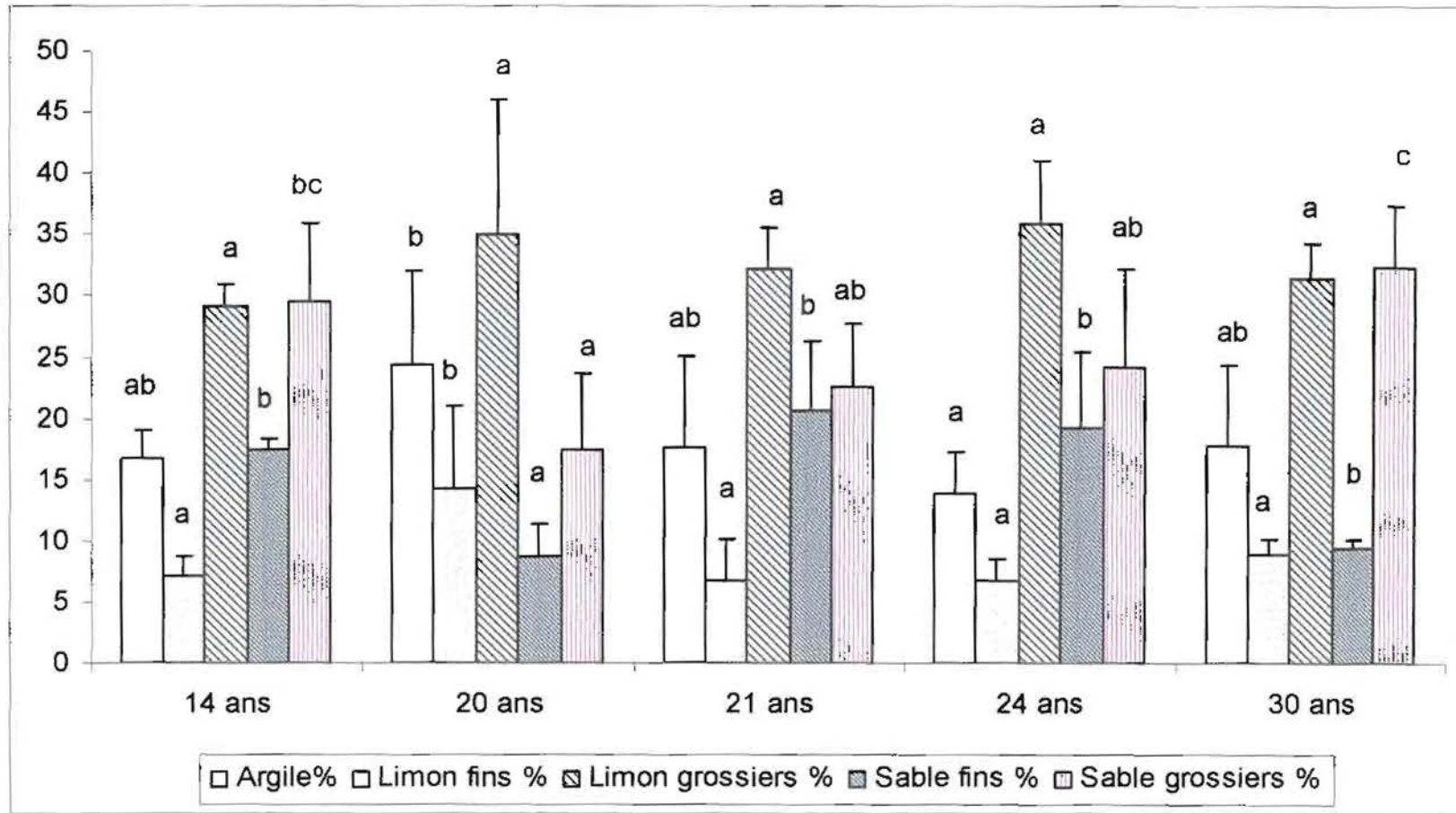


Figure 18. Analyse granulométrique de l'ensemble des échantillons prélevés dans l'horizon (5-10 cm)

(Les barres d'erreur représentent l'écart type entre les valeurs) La différence significative entre deux moyennes est marquée par des lettres différentes selon le test de Fisher ($p < 0,05$).

3.3.2.1.4. Comparaison de la teneur en éléments fins

Les sols du site présentent dans l'ensemble une texture grossière. De ce fait, il est plus judicieux de faire une comparaison des éléments fins (argile + limons fins). Du reste, la teneur minimale de matière organique du sol dépend de la teneur en argile et limons (Pieri, 1989). Par conséquent, les composés organiques ont tendance à être adsorbés sur les particules argileuses et ainsi à être stockés de manière plus efficace. La texture règle l'accessibilité de la matière organique. Par conséquent, nous avons effectué une sommation des éléments fins (argile+ limons) dans les différents horizons du sol (0-5 cm et 5-10 cm) et aussi dans le cas des structures biogéniques de termitières.

- horizon (0-5 cm)

La **Figure 19** présente la répartition des éléments fins (argile + limons) dans les différents âges du zaï forestier. La proportion des éléments fins ne présente pas de différences significatives entre les différentes parcelles de zaï, bien que certaines parcelles (20 ans, 24 ans et 30 ans) possèdent des valeurs supérieures aux autres (14 ans, 21 ans).

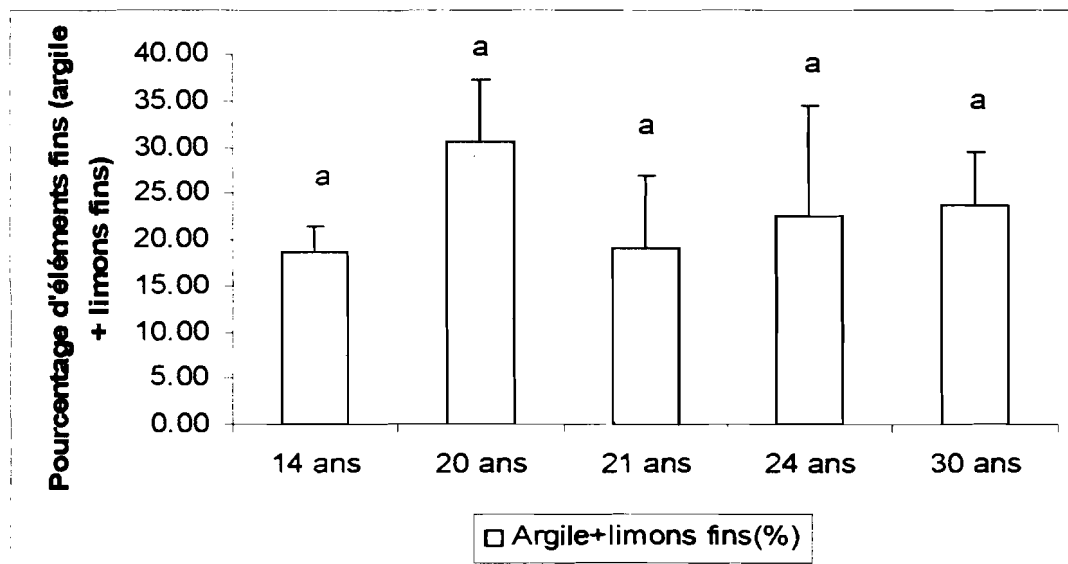


Figure 19. Proportion des éléments fins selon les parcelles de zaï (horizon 0-5 cm)

- horizon (5-10 cm)

Les proportions d'éléments fins dans le zaï de 20 ans se distinguent clairement de celles des autres (14 ans, 21 ans, 24 ans et 30 ans) (**Figure 20**). L'analyse statistique confirme cela, avec une probabilité $p < 0,0001$ entre 20 ans et 24 ans et $p < 0,005$ entre les zaï 14 ans, 21 ans et 30 ans.

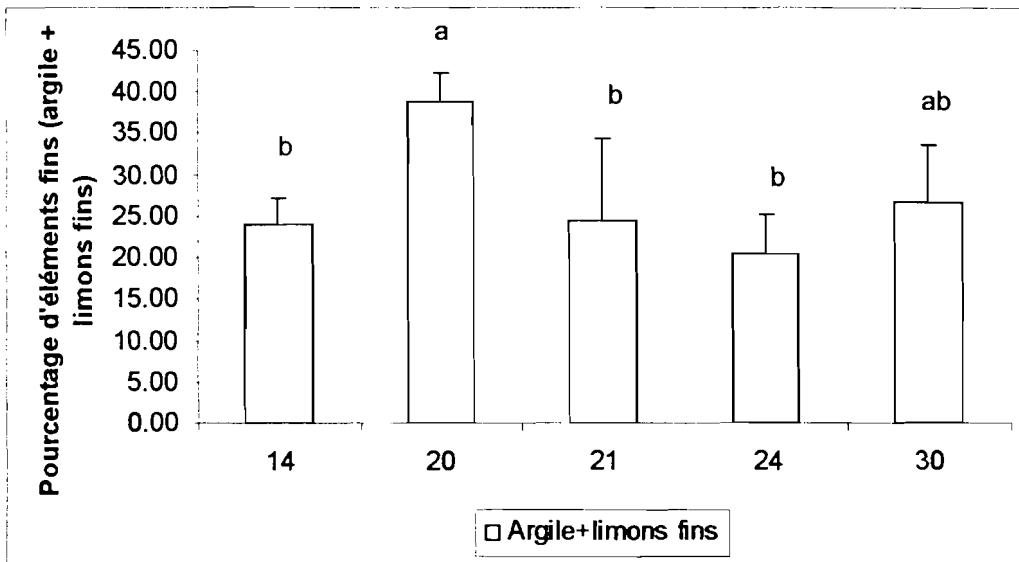


Figure 20. Proportion des éléments fins par parcelle de zai (horizon 5-10 cm)

Il ressort de ces analyses que la teneur en éléments fins n'est pas un facteur lié à l'âge comme on pourrait le penser mais plutôt lié à la localisation et aux conditions édaphiques (Menaut *et al.*, 1985). Les pentes déterminent ainsi la circulation latérale de l'eau à l'intérieur du paysage. Ces mouvements d'eau entraînent avec eux le transfert puis l'accumulation de la matière organique des hauts de pente vers les bas de pente.

3.3.2.2. Analyses granulométriques des structures biogéniques de termitières

La **Figure 21** présente les proportions en éléments fins des termitières et des placages. Nous observons que la termitière de *Macrotermes* présente un pourcentage en éléments fins plus élevé que le reste des structures : près de 55% ; contre 42 % pour la termitière de *Cubitermes* et 17% pour les placages de *Macrotermes*. La termitière de *Macrotermes* comparée aux placages montre donc de grandes différences, bien qu'il s'agisse de la même espèce de termites. Cela signifie que les termites ajustent les matériaux en fonction de la structure qu'ils construisent (Jouquet *et al.*, 2003).

La comparaison des proportions en éléments fins des termitières à celles du sol (**Figures 20 et 21**) montre des proportions plus fortes dans les termitières. On peut donc dire que les structures de termitières peuvent constituer un apport non négligeable en éléments fins aux sols de ces jachères.

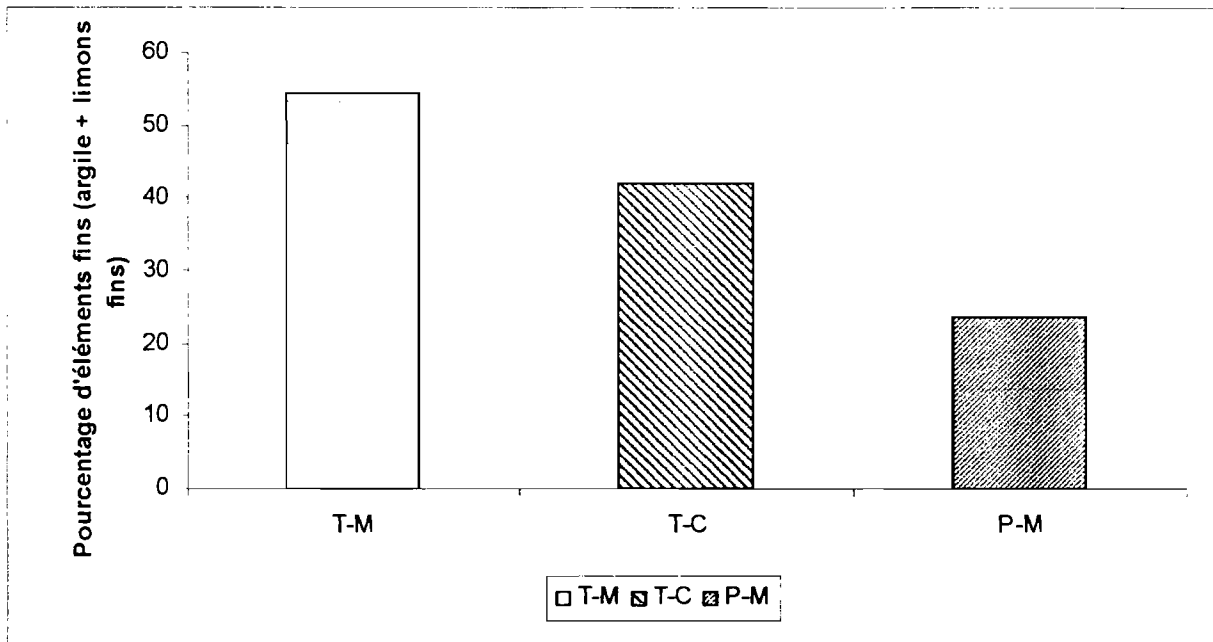


Figure 21. Proportion des éléments fins des structures de termites (termitières et placages) (T-M : termitière de *Macrotermes*, T-C : termitière de *Cubitermes*, P-M : placage de *Macrotermes*).

3.3.2.3. Analyses chimiques des sols

- horizon 0-5 cm

La parcelle de 20 ans (**Tableau 7**) présente des teneurs en carbone et en azote totaux significativement plus élevées par rapport à celles des autres parcelles ($p < 0,001$). Le zaï de 14 ans, le plus jeune, a statistiquement la même teneur en carbone total que le zaï de 24 ans et de 30 ans. Nous déduisons de ces résultats que les teneurs en carbone et en azote totaux n'évoluent pas en fonction de l'âge de la parcelle. Concernant les teneurs en phosphore assimilable, c'est plutôt dans le zaï de 30 ans que l'on observe des teneurs significativement plus élevées ($p < 0,005$). Le rapport C/N ne présente pas de différence significative entre les parcelles de zaï.

Tableau 7. Teneurs en carbone total, azote total, phosphore assimilable, rapport C/ N, pH eau et pH Kcl des échantillons de sol selon les âges du zaï, dans l'horizon (0-5 cm)

(La différence significative entre deux moyennes pour chaque ligne est marquée par des lettres différentes selon le test de Fisher ($p < 0,05$)).

Age	14 ans	20 ans	21 ans	24 ans	30 ans
C-total	10,15 ab	14,35b	9,6a	12,05ab	10,4ab
N-total	0,92a	1,09b	0,79a	1,07ab	0,98ab
P-assimilable	2,263bc	2,405bc	1,38a	2,117b	3,125c
C/N	10,975a	10,925a	12,075a	11,308a	10,725a
pHeau	6,253a	5,84a	6,275a	6,118a	6,043a
pH Kcl	5,208a	4,803a	5,148a	4,811a	4,533a

- horizon (5-10 cm)

Les teneurs en carbone total, azote total et le phosphore assimilable dans l'horizon (5-10 cm) présentent les mêmes évolutions que dans l'horizon (0-5 cm) (**Tableau 8**), mais avec des valeurs beaucoup plus faibles. Par contre, au niveau du C/N, des différences entre les parcelles de zaï apparaissent. Le rapport C/N du zaï de 21 ans connaît une augmentation significative par rapport aux autres parcelles (14 ans, 20 ans, 24 ans, 30 ans). Par ailleurs les valeurs du pH_{Kcl} sont en dessous de 5.

Tableau 8. Teneurs en carbone total, azote total, phosphore assimilable, rapport C/ N, pH eau et pH Kcl des échantillons de sol selon les âges du zai, dans l'horizon (5-10 cm)

(La différence significative entre deux moyennes pour chaque ligne est marquée par des lettres différentes selon le test de Fisher ($p < 0,05$)).

Age	14 ans	20 ans	21 ans	24 ans	30 ans
C-total	9,18a	12,95b	8,85a	11,37ab	10ab
N-total	0,87ab	1,19c	0,74a	1,08bc	0,94abc
P-assimilable (ppm)	1,315a	2,343b	1,238a	1,463a	2,110ab
C/N	10,575 ab	10,925 ab	11,950b	10,567a	10,750ab
pHeau	5,918ab	5,593a	6,228b	5,878ab	5,680a
pHKcl	4,463a	4,463a	4,783a	4,376a	4,328a

3.3.2.4. Analyses chimiques des structures biogéniques de termites

Pour les teneurs en carbone total, azote total et phosphore assimilable, les valeurs de la termitière de *Cubitermes* sont nettement supérieures (21,7 mg-C/g sol ; 1,7 mg-N /g sol et 56,8 mg- N/g sol) aux valeurs de la termitière *Macrotermes* (11,8 mg-C/g sol 1,02 mg-N/g sol et 13 mg-P/g sol), et à celles des placages de *Macrotermes* (12,3 mg-C/g sol ; 1,53 mg-N/g sol ; 18,2 mg-P/g sol) (**Figure 22**). Par contre, on constate que les teneurs des différents paramètres mesurés sur la termitière de *Macrotermes* et ceux des placages sont approximativement les mêmes.

Par ailleurs, on constate que dans les sols, les teneurs en carbone varient de 8,85 à 14,35 mg-C /g sol contre une variation de 11,8 mg-C/g de sol dans les structures de termitières. Pour l'azote, on note une teneur variant de 0,74 à 1,07 mg /g sol dans les sols environnants et une variation de 1,02à 1,7mg/g sol dans les structures de termitières. Quant au phosphore assimilable, il varie de 1,38 à 3,2 ppm dans les sols contre une variation de 1,3 à 5,7 ppm dans les sols de termitières. Ce qui démontre que les structures termitiques sont nettement plus riches en carbone total, en azote total et en phosphore assimilable par rapport aux sols correspondants des parcelles.

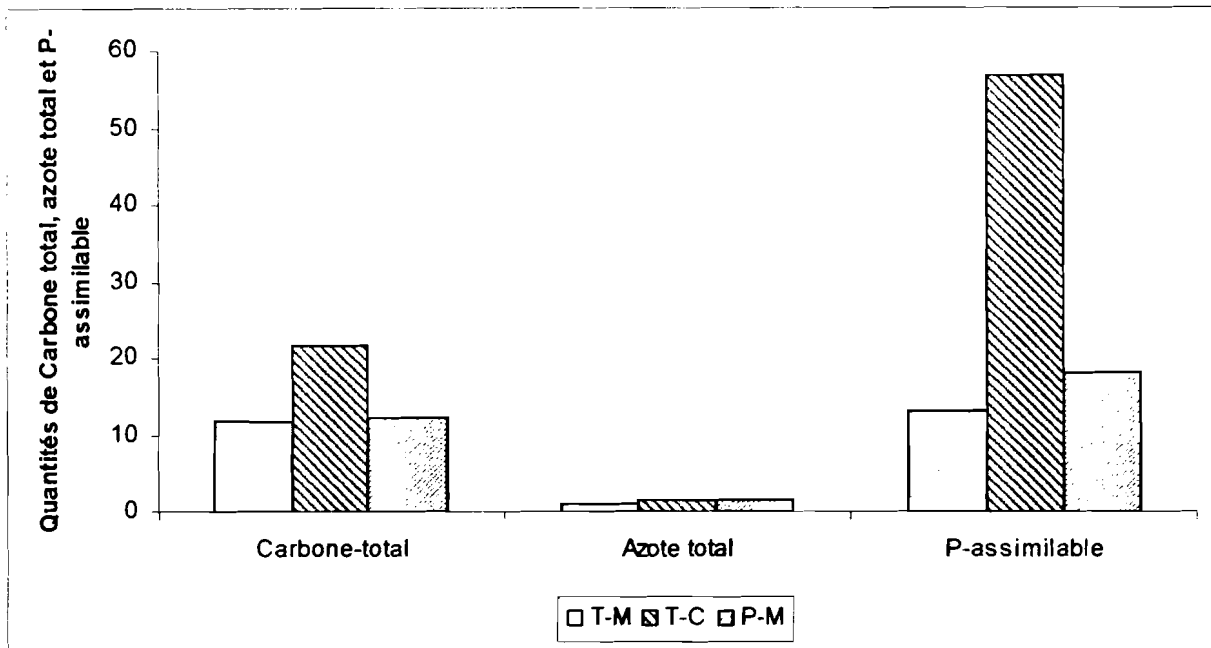


Figure 22. Paramètres chimiques des structures biogéniques de termites (termitières et placages)

(T-M : termitière de *Macrotermes* sp ; T-C : Termitière de *Cubitermes* sp ; P-M : placage de *Macrotermes* sp).

3.3.3. Discussion sur les paramètres physico-chimiques mesurés

L'analyse des résultats révèle que les teneurs en carbone total et en azote total des sols ne varient pas significativement avec l'âge de la parcelle. Cela serait dû en fait aux différences de texture des sols (**Figures 17 et 18**). En effet, selon Feller *et al.*, (1991) le taux de matière organique du sol est fortement corrélé à sa teneur en éléments fins qui influencent l'accumulation du carbone.

On constate aussi des différences d'accumulation de la litière au niveau des parcelles de zaï (**Figures 12 et 13**). En effet, l'action des litières est notable surtout dans l'aération des sols, la réduction des phénomènes d'érosion, l'augmentation de la capacité d'échange cationique et la disponibilité des nutriments (Young, 1989). De plus, elles sont constituées de différentes composantes parmi lesquelles figurent le carbone et l'azote (Diallo, 2003). Ces deux éléments constituent les principaux paramètres entrant dans les équations des cinétiques de décomposition, surtout le C/N (Swift *et al.*, 1979). Leur teneur varie de façon considérable selon le degré d'évolution des litières après leur restitution au sol (Duchaufour *et al.*, 1968). Ainsi, la quantité importante de litière observée dans la parcelle de 20 ans est suivie par des

teneurs en carbone et en azote totaux significativement élevés par rapport aux autres jachères (14 ans, 21 ans, 24 ans et 30 ans).

De ce fait, nous déduisons que le cycle de l'azote et celui du carbone apparaissent étroitement liés. Duthil (1973) en était arrivé aussi à la même conclusion. Pieri (1989) abonde dans le même sens et trouve que la matière organique est en fait le lieu de stockage d'azote. C'est-à-dire que cette augmentation d'azote total s'expliquerait par l'amélioration du statut organique du sol.

Concernant le zaï les plus âgés (24 ans), si l'on écarte celui de 30 ans, dont l'historique diffère des autres, nous pouvons dire que la présence de grands arbres n'influe pas tellement sur le renouvellement du stock organique. Cette reconstitution, lente au début, s'accompagne au fil du temps d'un prélèvement accru de ces éléments par les plantes de plus en plus nombreuses, denses et diversifiées (Pieri, 1989). En effet, malgré la forte densité ligneuse observée au niveau du zaï 21 ans et la présence de grands arbres (arbres à grande surface basale : **Tableau 5**), dans le zaï de 24 ans, la teneur en matière organique du zaï de 20 ans reste supérieure.

Par contre, au niveau du phosphore assimilable, un phénomène particulier se produit : le zaï de 30 ans qui donne les plus faibles quantités des différents paramètres mesurés (végétation, activité des termites, paramètres chimiques) présente la plus grande valeur en phosphore assimilable dans l'horizon (0-5 cm) et (5-10 cm), supérieure à celle du zaï de 20 ans.

En revanche, les structures de termitières sont assez riches en particules fines, en matière organique, par comparaison aux autres sols (**Figure 21**).

Des résultats similaires ont été obtenus (Abbadie et Lepage, 1989 ; Abbadie *et al.*, 1993 ; Konaté, 1998 ; David, 2003). En comparant les termitières entre elles, on constate que les valeurs des teneurs en matière organique totale et en phosphore assimilable sont nettement plus élevées dans le sol de *Cubitermes* par rapport au sol de termitière de *Macrotermes* et des placages de *Macrotermes*. En effet, de nombreux auteurs (Tano, 1993 ; Holt and Lepage, 2000) s'accordent sur la faible concentration de ces éléments minéraux et organiques dans la termitière de *Macrotermes*. Selon ces auteurs, la pauvreté de la termitière de *Macrotermes* en matière organique serait due à l'origine profonde des matériaux de construction qui peuvent être prélevés à plusieurs mètres en dessous du nid, voire même 50 m. De même, la différence importante de composition chimique qui existe entre les termitières de *Cubitermes* et de *Macrotermes* s'expliquerait sur la base de la différence d'origine des matériaux de construction de ces deux types de termitières. Les termites humivores (*Cubitermes*)

enrichissent leurs aires d'influence en matière organique par l'incorporation de leurs déjections dans leurs termitières et par les prélèvements d'une partie de leurs matériaux de construction dans les couches superficielles du sol formant l'humus (Boyer, 1956 ; Grassé, 1984). En revanche, les termites champignonnistes (*Macrotermes*) construisent de vastes nids épigés mais n'incorporent pas leurs excréments dans leurs matériaux de construction (Grassé, 1984). De plus, comme précédemment dit, ces matériaux sont prélevés profondément dans le sol. Aussi, on peut constater une même évolution des teneurs (carbone total, azote total, phosphore assimilable) des termitières et des placages de *Macrotermes* sp (Figure 22).

Par ailleurs, les placages de *Macrotermes* sont les plus abondants dans les zaï de 20 ans et de 24 ans. Les plus faibles placages sont enregistrés dans les zaï de 30 ans et de 21 ans (Figure 14). On pourrait donc supposer que *Macrotermes* serait l'espèce dominante dans les parcelles 20 ans et 24 ans. Il faut cependant être prudent car le milieu a pu être influencé par d'autres espèces. C'est le cas par exemple du zaï de 30 ans dans lequel l'activité de *Macrotermes* est faible. Par contre, on constate une forte teneur en phosphore assimilable. Cela laisse supposer que la présence d'un taux élevé en phosphore serait dû à la présence des termitières de *Cubitermes*. Ces termitières possédant en effet, une forte teneur en phosphore assimilable, pourraient, sous l'effet de la pluie, se désagréger peu à peu et leurs matériaux se répandre sur le sol voisin et l'enrichir en phosphore assimilable.

Par leurs diverses actions, les termites participent à la conservation de la fertilité des sols par leur activité de consommateurs primaires, ainsi que par leurs actions sur la morphologie, la physique et la chimie des sols (Lee and Wood, 1971 ; Boyer, 1975).

3.4. Etude du compartiment microbien

Les microorganismes jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement du sol, que ce soit dans les interactions avec la plante ou dans les cycles du carbone et de l'azote (Ndiaye, 2003). La mesure de la diversité microbienne est donc un facteur important dans les études menées sur la qualité des sols. Pour cette étude une démarche polyphasique a été adoptée en étudiant trois aspects biologiques des populations microbiennes :

- l'activité microbienne ;
- son abondance ;
- sa diversité.

3.4.1. Métabolisme des populations microbiennes

3.4.1.1. Potentiel respiratoire du sol selon les parcelles de zaï

La **Figure 23** présente les quantités totales de C-CO₂ (mg/kg de sol) dégagées pendant 7 jours, par la respiration microbienne. La plus forte quantité de C-CO₂ (mg/Kg sol) est observée dans la parcelle de 24 ans (87 mg C-CO₂/Kg sol). Les parcelles de 21 ans et 20 ans ont respectivement 76,9 mg C-CO₂/Kg sol et 81,28 mg C-CO₂ Kg sol. Quant à la parcelle de 30 ans, la quantité mesurée est de 54,7 mg C-CO₂ /Kg sol. La parcelle de 14 ans possède la plus faible quantité (52,24 mg C-CO₂ /Kg sol).

L'analyse de variance montre que la quantité de C-CO₂ est significativement plus élevée dans la parcelle de 24 ans ($p < 0,05$). Nous constatons aussi que les parcelles 20 ans, 21 ans et 30 ans, malgré leur similitude statistique, présentent de grosses variations entre elles. Ces variations se situent entre la parcelle de 30 ans et les deux autres (20 ans et 21 ans). L'écart varie de 22,21 à 26,57 mg C-CO₂/Kg sol.

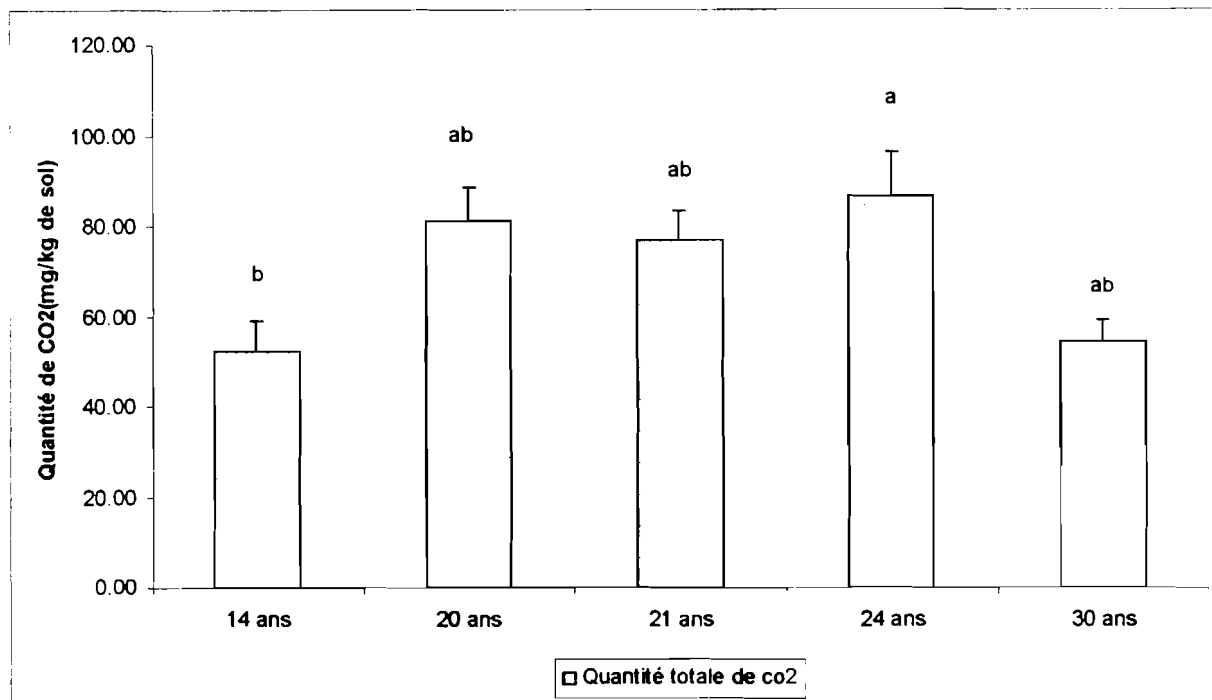


Figure 23. Quantité totale de C- CO₂ dégagée par le sol selon les parcelles de zaï

3.4.1.2 Potentiel respiratoire des structures biogéniques de termites

Les mesures de C-CO₂ dégagé à partir des structures biogéniques de termitières (termitières de *Cubitermes*, de *Macrotermes* et de *Trinervitermes*, placages de *Macrotermes*) montrent des valeurs plus élevées dans les placages (162,05 mg/g de sol) suivis de la termitière de *Trinervitermes* (100,94 mg/g de sol) (**Figure 23**). Les plus faibles valeurs sont observées au niveau de la termitière de *Cubitermes* (49,54, mg /kg sol) puis dans celle de *Macrotermes* (12,4 mg/kg sol). L'examen statistique (test de Fisher au seuil de 5%) est significatif pour toutes les structures biogéniques de termitières ($p < 0,0001$). Ces résultats montrent que les termites n'utilisent pas les mêmes matériaux entre les différentes espèces, comme, pour une même espèce, entre l'édification de structures de récolte et l'édification des structures du nid. Les matériaux utilisés ont certainement des origines différentes.

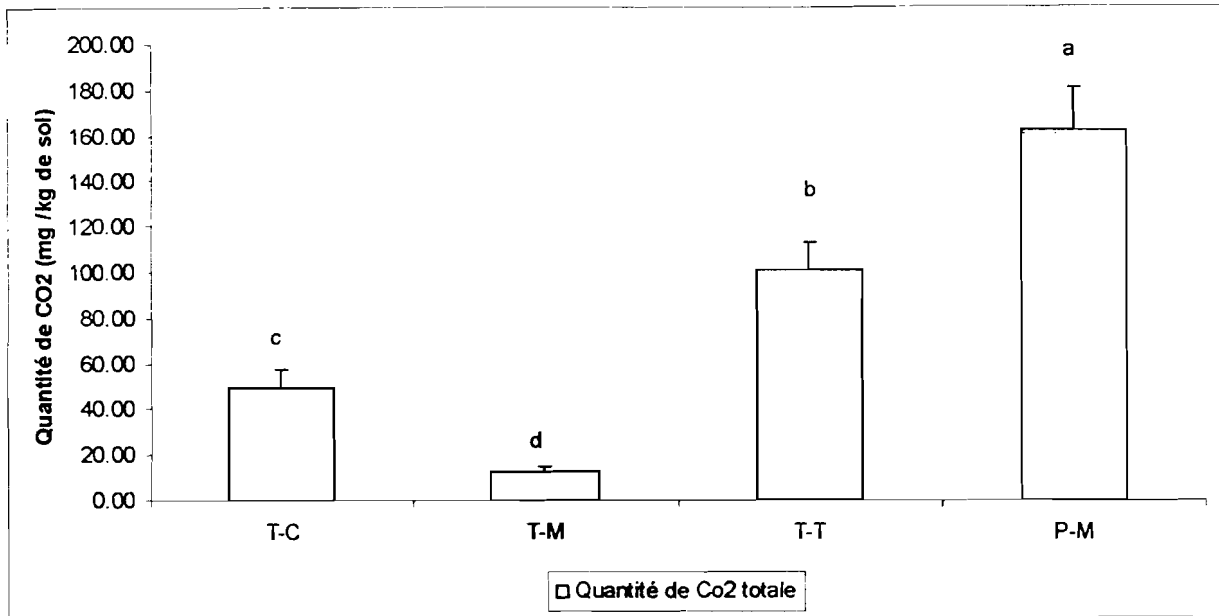


Figure 24. Quantité de C- CO₂ dégagé total selon les structures termitiques

(T-C : termitière de *Cubitermes* ; T-M termitière de *Macrotermes* ; T-T termitière de *Trinervitermes* ; P-M placage de *Macrotermes*).

3.4.2. Quantification de la biomasse microbienne

La biomasse microbienne fait référence à la fraction vivante de la matière organique, considérant l'ensemble des microorganismes du sol comme un tout (Chaussod, 1996). Aussi, en considérant que le flux de C-CO₂ respiré provient de l'ensemble des microorganismes, on peut exprimer ce flux par unité de biomasse. Ce résultat est appelé « Quotient Spécifique » (Chaussod *et al.*, 1986) ou « Quotient métabolique » (Anderson, 1994) :

$$Q_{CO_2} = \frac{\text{Flux de CO}_2}{\text{Biomasse microbienne}}$$

Cette mesure complète utilement la détermination de la taille du compartiment vivant du sol et permet d'accéder aussi à son taux de renouvellement.

3.4.2.1. Biomasse microbienne totale

- dans les différentes parcelle de zaï

La biomasse microbienne totale la plus élevée est observée dans le zaï de 24 ans (101,33 µg C/g sol) suivie de celle mesurée dans le zaï de 14 ans (82,42 µg C/g sol) (**Figure 25**). La plus faible biomasse est enregistrée dans le zaï de 30 ans (46,18 µg C/g sol). Quant

aux zaï de 20 ans et de 21 ans, les biomasses microbiennes totales sont respectivement de 58,33 $\mu\text{g C/g}$ de sol et de 56,42 $\mu\text{g C/g}$ sol. L'analyse de variance indique une différence significative entre les parcelles de 24 ans et de 30 ans ($p < 0,0001$) et entre les parcelles de 24 ans et les parcelles de 20 et de 21 ans ($p < 0,005$).

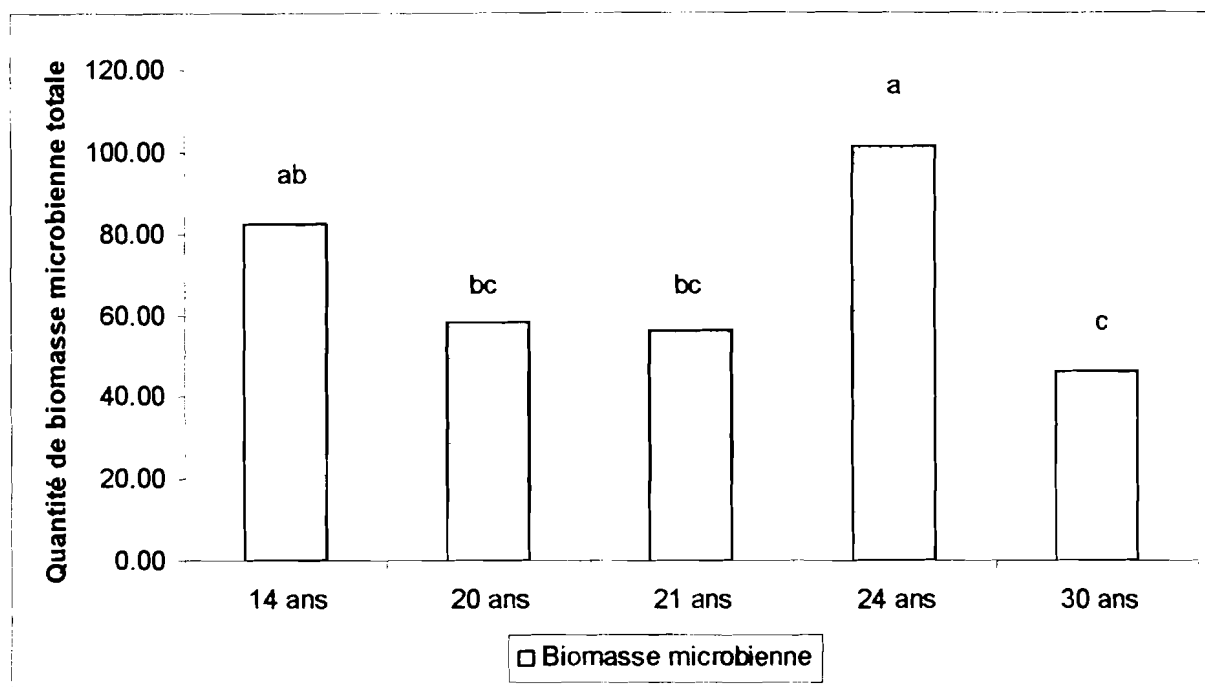


Figure 25: Quantité de biomasse microbienne totale ($\mu\text{g C/g}$ de sol) par parcelle de zaï

- dans les structures biogéniques de termitières

La biomasse microbienne totale dans les structures biogéniques de termitière est plus élevée pour la termitière de *Trinervitermes* (141,33 $\mu\text{g C/g}$ de sol) suivie de la biomasse dans les placages de *Macrotermes* (96,67 $\mu\text{g C/g}$ de sol (**Figure 26**). Les plus faibles valeurs sont observées dans la termitière de *Cubitermes* (37,7 $\mu\text{g C/g}$ sol) et dans celle de *Macrotermes* (18 $\mu\text{g C/g}$ sol). L'examen statistique (test de Fisher au seuil de 5%) est significatif entre les différentes structures biogéniques de termitières ($p < 0,005$).

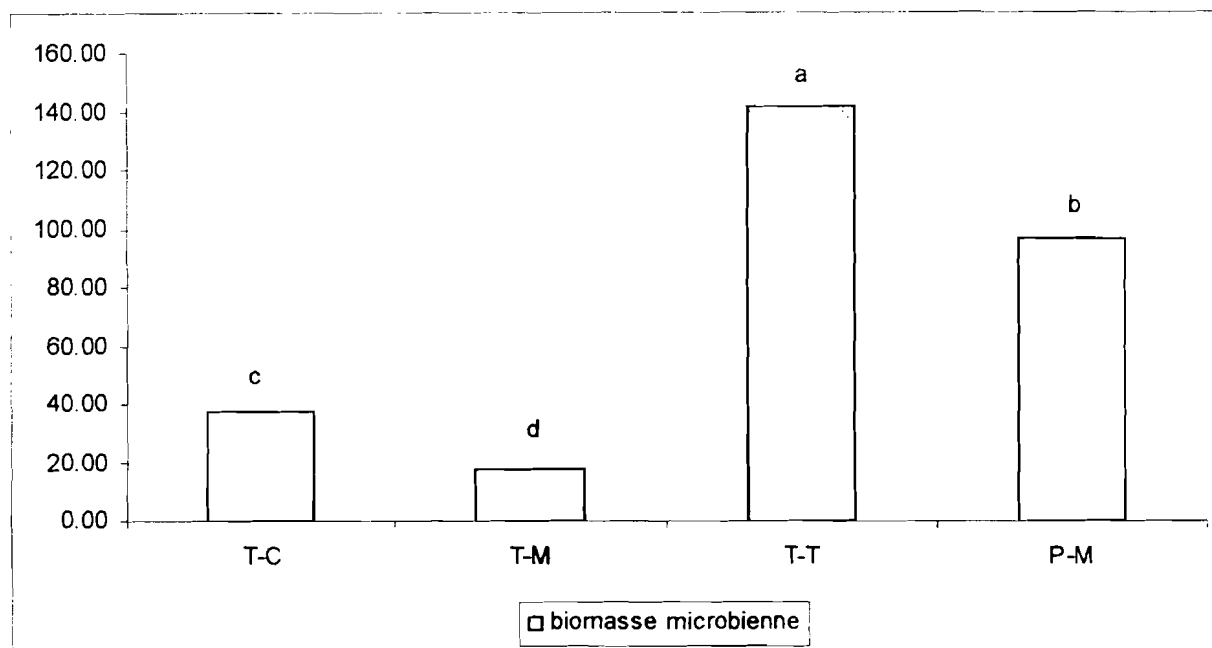


Figure 26. Quantité de biomasse microbienne ($\mu\text{g C/g}$ de sol) par termitière et par placage (T-C : termitière de *Cubitermes* ; T-M termitière de *Macrotermes* ; T-T termitière de *Trinervitermes* ; P-M placage de *Macrotermes*).

3.4.2.2. Quotient métabolique

Le **Tableau 9** montre que les plus forts quotients métaboliques sont observés dans les parcelles de 21 ans, 20 ans et 30 ans et aussi dans les placages de *Macrotermes*, alors qu'ils ne possèdent pas les plus fortes biomasses microbiennes. Les plus fortes biomasses sont enregistrées dans la termitière de *Trinervitermes* et dans la parcelle de 24 ans. Ces résultats montrent en effet que la présence d'une biomasse microbienne importante n'est pas toujours synonyme d'une forte activité respiratoire. La qualité des populations microbiennes présentes revêt une importance capitale, d'où la nécessité de faire souvent des tests de diversité fonctionnelle.

Tableau 9. Quotient métabolique selon l'âge du zaï et les structures termitiques (T-C termitière de *Cubitermes*; T-M termitière de *Macrotermes*; T-T termitière de *Trinervitermes*; P-M placage de *Macrotermes*).

Age du zaï	Biomasse microbienne ($\mu\text{g C/g sol}$)	Quotient métabolique
14ans	82,42	0,039
20 ans	58,33	0,140
21 ans	56,42	0,156
24 ans	101,33	0,067
30 ans	46,08	0,132
T-C	37,67	0,032
T-M	18,00	0,008
T-T	141,33	0,065
P-M	96,67	0,142

3.4.3. Discussion sur les paramètres microbiologiques

Les résultats montrent que l'activité respiratoire, qui s'accompagne éventuellement de la dégradation de la matière organique, n'est pas toujours liée à la quantité de biomasse microbienne totale. Une faible biomasse microbienne peut produire une forte activité respiratoire. Par ailleurs un métabolisme actif se traduit par un quotient métabolique élevé. Ce qui indiquerait un rajeunissement des populations puisque le quotient métabolique des organismes jeunes est plus élevé que celui des plus âgés (Anderson and Domsch, 1978). En outre, les quantités plus fortes de C-CO₂ et de la biomasse microbienne s'expliqueraient par les quantités de carbone présentes dans chaque parcelle. Plus les entrées de carbone organique sont élevées, plus les populations microbiennes et leurs activités seront importantes. De nombreuses études ont souligné que la dynamique de la population microbienne était fonction de la quantité de carbone (Degens *et al.*, 2000). De plus, Garcia-Gil *et al.* 2000) montrent que l'abondance de la communauté microbienne est positivement corrélée à la quantité de carbone disponible pour satisfaire ses besoins énergétiques.

En outre, la qualité des populations microbiennes présentes peut aussi induire des activités respiratoires différentes. La qualité des populations présentes dans le sol se traduit par des aptitudes à métaboliser des substrats très variés (Garland and Mills, 1994).

3.5. Analyse en composantes principales des paramètres mesurés

L'ACP (Analyse en Composantes Principales) est une méthode essentiellement descriptive qui permet de résumer la variabilité des paramètres recueillis et de dégager les relations entre les variables biologiques utilisées dans les différentes parcelles du zaï. Dans cette étude, son utilisation se justifie par le besoin de la mise en évidence des interactions entre les composantes biologiques de la partie superficielle et celles de la partie souterraine du sol selon les âges du zaï et selon l'hétérogénéité du sol.

Variables mesurées

Le carré de (0,5 × 0,5 m) est l'unité d'échantillonnage. La pose des carrés s'est faite sur les quatre transects (Nord, Sud, Est, Ouest). Nous avons au total 40 carrés par transect, sauf pour le transect Est où il n'y a que 36 carrés. Dans chaque carré nous avons relevé l'ensemble des variables relatives à la végétation (strate ligneuse sur 9m² en suivant les carrés de 0,25m², strate herbacée, activités des termites (placage, trous de récolte). Quant aux paramètres physico-chimiques et microbiologiques, ils ont concerné 36 échantillons choisis en tenant compte de la toposéquence, de la localisation (transect Nord - Sud, Est- Ouest) et de l'âge de la parcelle de zaï (14 ans, 20 ans, 21 ans, 24 ans, et 30 ans).

Les variables mesurées :

➤ Les paramètres relatifs à la strate ligneuse:

- NLi : nombre d'individus ligneux par 9m²
- SpLi : nombre d'espèces ligneuses échantillonnées par 9m²
- Nbrpl : nombre de plantules ligneuses par 9 m²
- Sba : surface basale des ligneux échantillonnés par 9m²
- Lit : poids total de la litière par 0,25 m²

➤ Les paramètres relatifs à la strate herbacée:

- SpH : nombre d'espèces herbacées échantillonnées par 0,25m²
- BH : biomasse herbacée par 0,25m²
- Rec: recouvrement sur 9 m²

➤ Les paramètres relatifs au sol:

- CGv-1(horizon 0-5 cm ; CGv-2 (horizon 5-10 cm) : charge graveleuse

- Ct : carbone total (Ct1 : horizon 0-5, Ct2 : horizon 5-10)
- Nt : azote total (Nt1 : horizon 0-5 ; Nt2 : horizon 5-10)
- Pas : phosphore assimilable (Pas1 : horizon 0-5 ; Pas2 : horizon 5-10)
- Arg1 : quantité de d'argile (Arg1 : horizon 0-5, Arg2 : horizon 5-10)
- Limf : limons fins (Limf1 : horizon 0-5 ; Limf2 : 5-10)
- CO₂tt : quantité de CO₂ dégagé par le métabolisme microbien (mg-C-CO₂/kg de sol) sur l'horizon 0-5 cm
- BM : biomasse microbienne

➤ **Les paramètres relatifs aux termites**

- P : poids des placages ramassé dans les carrés de (0,5 × 0,5 m)

3.5.1. Corrélations entre les variables

La matrice des corrélations est exposée dans le **Tableau 10**.

-Corrélation entre les paramètres ligneux et herbacés :

Sur ce tableau, nous constatons que la biomasse herbacée est corrélée positivement avec les variables densités ligneuses (nombre de ligneux), nombre d'espèces herbacées et avec le taux de recouvrement. En outre le nombre d'espèces herbacées est corrélé avec le nombre de ligneux, lui-même très fortement corrélé avec le nombre d'espèces ligneuses et le nombre de plantules ligneuses.

La litière est corrélée significativement avec les variables biomasse herbacée, nombre de ligneux, nombre d'espèces ligneuses.

Concernant les corrélations entre les paramètres de la végétation et les paramètres physico-chimiques du sol, on constate qu'il n'y a pas de relation entre la biomasse herbacée et la charge graveleuse. Cependant, entre le nombre de ligneux et la charge graveleuse, la corrélation est négative.

Ces résultats justifient l'approche méthodologique utilisée et montrent une bonne corrélation entre les variables mesurées à l'échelle de 0,25 m² (biomasse herbacée, espèces herbacées, litière, charge graveleuse) et les variables mesurées à l'échelle de 9m² (nombre de ligneux, espèces ligneuse, nombre de plantules et taux de recouvrement herbacé).

L'analyse montre une bonne corrélation entre le compartiment ligneux et le compartiment herbacé. La corrélation est beaucoup plus observée entre la biomasse herbacée

et les variables ligneuses. De nombreux auteurs ont montré que l'arbre joue un rôle déterminant sur la répartition des espèces herbacées, augmentant significativement la richesse floristique et la production de la strate herbacée (Akpo et Grouzis, 1997). D'autres auteurs en revanche (Fournier *et al.*, 1982 ; Mitja 1992) avaient trouvé que la présence des arbres limitait quantitativement la croissance de la strate herbacée. Les conclusions différentes de ces auteurs nous amène à penser que l'arbre en étant jeune a une influence positive sur la strate herbacée mais au fil du temps, son effet devient de plus en plus négatif, certainement à cause de la compétition entre ligneux et herbacées.

La corrélation entre la biomasse herbacée et nombre d'espèces herbacées s'expliquerait par la présence d'espèces productrices de biomasse (*Andropogon pseudapricus*, *Andropogon gayanus*) et aussi par la présence d'espèces ayant une grande capacité de production et de prolifération (*Zornia glochidiata*, *Spermacoce radiata*).

La corrélation positive entre la litière et le nombre de ligneux, montre clairement l'origine majoritaire ligneuse de la litière. Ce qui a d'ailleurs été prouvé plus haut (**Figure 13**).

Le taux de recouvrement, malgré l'estimation rapide faite à l'œil, donne une bonne indication car il est relié positivement à toutes les variables du point d'échantillonnage (litière, biomasse herbacée, plantules, dégagement de CO₂, biomasse microbienne) sauf avec la charge graveleuse, avec laquelle il est relié négativement.

En ce qui concerne les relations entre la végétation et le sol, on observe que la végétation herbacée semble indépendante de la charge graveleuse, même si la corrélation est légèrement positive avec le nombre d'espèces herbacées. En revanche, la strate ligneuse semble reliée négativement à la charge graveleuse.

-Corrélation entre les variables chimiques

Les résultats de l'analyse montrent une corrélation positive et forte entre le carbone et l'azote et les deux avec les limons fins. Ces résultats ont été démontrés plus hauts.

-Les variables qui agissent sur l'activité microbienne

La biomasse microbienne est positivement corrélée avec le carbone, l'azote et les limons fins. Elle est aussi reliée positivement avec le CO₂ dégagé, et négativement avec la charge graveleuse et l'argile. On constate aussi que le CO₂ dégagé suit les mêmes corrélations que la biomasse microbienne.

De ces résultats, nous concluons que :

- l'activité métabolique est reliée à la biomasse microbienne ;
- l'activité des microorganismes dépend de la matière en matière organique (carbone total, azote total).

Cette relation s'explique par le fait que la quasi-totalité des micro-organismes du sol sont hétérotrophes ; ils utilisent des matières organiques comme substrats énergétiques. Ce résultat s'apparente à ceux obtenus par d'autres auteurs. Diallo (2003) a ainsi montré que l'abondance de la communauté microbienne était positivement corrélée à la quantité de carbone. De même, Amato and Ladd (1992), ont montré également que la densité et l'activité des microorganismes dépendaient de la quantité de carbone dans le sol. Concernant la relation avec l'azote, les travaux de Nicolardot *et al.*, (1996) ont prouvé que la biomasse microbienne contrôle la fourniture de l'azote du fait qu'elle est à la fois une source (minéralisation) et un puits d'azote. Chotte *et al.* (1995) rapportent en effet que la biomasse microbienne constitue par elle même une part non négligeable de la matière organique du sol (5 à 10%). Dans la même optique, Chaussot et Houot (1993) déclarent que le potentiel de minéralisation de l'azote est proportionnel à la taille de la biomasse.

Ces résultats mettent en évidence l'importance du carbone et de l'azote dans la biomasse microbienne.

- l'activité des microorganismes dépend aussi des éléments fins (limons fins) mais pas des argiles.

La fraction fine constituée de l'argile et des limons fins du sol aurait un effet de protection sur la biomasse microbienne totale (Robert et Chenu, 1992) due à la plus forte proportion de micropores par rapport à un sol sableux et par la limitation du développement des prédateurs de microorganismes (mésafaune) (Chaussod et Houot, 1993). Il a aussi été rapporté que la teneur en argile des sols influence à la fois la taille de la biomasse microbienne et son taux de renouvellement (Sorensen, 1983 ; Chaussod *et al.*, 1986). Or nos résultats montrent que l'activité des microorganismes est négativement reliée à la proportion d'argile. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la faible quantité de carbone rend le carbone beaucoup plus accessible, même s'il est en quantité plus faible (Brondex, 1995). Donc des quantités plus fortes d'argile provoqueraient l'effet contraire. Ces résultats soutiennent nos travaux.

-Corrélation épigé-hypogé

Pour les relations entre la partie épigée et la partie hypogée du sol, on observe que la charge graveleuse est reliée négativement aux variables de la végétation (densité ligneuse,

nombre d'espèces ligneuses, surface basale ligneuse). Ce qui n'est pas le cas pour le nombre d'espèces herbacées, où l'on ne trouve aucune corrélation significative avec la charge graveleuse. Le carbone total présent dans le sol est corrélé avec le nombre de ligneux (densité ligneuse), avec la biomasse microbienne totale, et avec la quantité de C-CO₂ dégagée par la respiration microbienne.

L'activité et la biomasse microbienne sont corrélées positivement avec le nombre de ligneux, le nombre de plantules et le taux de recouvrement.

Ces résultats montrent qu'il existe des liens entre l'hypogé et l'épigé surtout dans le cas du compartiment ligneux et curieusement malgré des échelles très différentes de l'échantillonnage (0,25 m² pour les paramètres du sol et 9 m² pour les paramètres de la végétation ligneuse). Logiquement, on attendait plutôt des corrélations avec le compartiment herbacé. Ce lien avec le compartiment ligneux s'expliquerait par la forte contribution au sol assurée par les racines des plantes qui s'y développent. Ces racines exudent des composés organiques (Coleman *et al.*, 1978). Les exudats et les débris racinaires sont la source de 30 à 40% des entrées organiques dans la majorité des écosystèmes terrestres (Coleman *et al.*, 1978). Ces rhizodépôts expliquent que la rhizosphère (zone située immédiatement au contact des racines) constitue une zone d'activité microbienne très élevée (Sorensen, 1997).

De même, nous concluons que les variables microbiennes sont reliées à l'évolution dans le temps du milieu (âge du zaï), reflétée par le compartiment ligneux, plutôt qu'avec l'évolution spatiale de la végétation, reflétée par les herbacées majoritairement annuelles. Par conséquent on note une pérennité dans le temps des variables microbiennes.

Tableau 10. Coefficients de corrélation de Pearson entre les variables étudiées
En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha= 0.05 (test bilatéral)

	Lit	BH	SpH	Nli	SpLi	Nbrepl1	REC	P	Sba	CG1	CG2	Ct1	Ni1	MOT1	Pas1	Arg1	Limf1	MOT2	Ct2	NT2	Pas2	Arg2	Limf2	CG2	CO2it	BM	
Lit	1																										
BH	0,29	1																									
SpH	0,12	0,52	1																								
Nli	0,33	0,20	0,16	1																							
SpLi	0,31	0,17	0,06	0,75	1																						
Nbrepl1	0,20	0,04	0,05	0,31	0,34	1																					
REC	0,17	0,47	0,24	0,42	0,39	0,27	1																				
P	0,11	0,08	0,12	0,09	0,10	0,11	0,08	1																			
Sba	0,13	-0,01	-0,04	-0,01	0,14	0,38	-0,06	-0,04	1																		
CG1	-0,32	-0,09	0,15	-0,23	-0,30	-0,47	-0,27	-0,10	-0,15	1																	
CG2	-0,32	-0,05	0,17	-0,21	-0,28	-0,45	-0,22	0,01	-0,19	0,91	1																
Ct1	0,10	-0,04	0,14	0,20	0,11	0,04	0,08	0,04	0,00	0,21	0,23	1															
Ni1	0,03	-0,06	0,17	0,16	0,04	-0,02	0,01	0,03	-0,02	0,35	0,37	0,96	1														
MOT1	0,10	-0,04	0,14	0,20	0,11	0,04	0,08	0,04	0,00	0,21	0,23	10,00	0,96	1													
Pas1	-0,19	-0,07	0,11	-0,11	-0,24	-0,21	-0,24	-0,04	-0,10	0,58	0,58	0,10	0,37	0,10	1												
Arg1	0,27	0,07	0,00	-0,01	-0,04	-0,26	-0,14	-0,01	-0,04	0,36	0,30	0,38	0,45	0,38	0,43	1											
Limf1	-0,16	-0,12	0,20	0,15	0,01	0,08	0,04	0,03	-0,02	0,29	0,35	0,83	0,88	0,83	0,37	0,02	1										
MOT2	0,03	-0,06	0,16	0,19	0,08	0,05	0,07	0,04	-0,01	0,25	0,28	0,99	0,98	0,99	0,20	0,31	0,90	1									
Ct2	0,03	-0,07	0,16	0,19	0,08	0,05	0,07	0,04	-0,01	0,25	0,28	0,99	0,98	0,99	0,20	0,31	0,90	10,00	1								
NT2	-0,06	-0,09	0,18	0,17	0,04	0,05	0,05	0,03	-0,02	0,30	0,34	0,94	0,97	0,94	0,31	0,21	0,97	0,98	0,98	1							
Pas2	0,05	0,01	0,06	-0,08	-0,17	-0,29	-0,23	-0,03	-0,08	0,55	0,51	0,24	0,45	0,24	0,84	0,85	0,18	0,26	0,26	0,26	1						
Arg2	0,33	0,12	-0,08	-0,06	-0,03	-0,27	-0,13	-0,02	-0,02	0,20	0,12	0,04	0,07	0,04	0,21	0,91	-0,39	-0,06	-0,06	-0,19	0,68	1					
Limf2	0,12	0,00	0,10	0,03	-0,07	-0,22	-0,14	-0,01	-0,06	0,51	0,48	0,64	0,76	0,64	0,66	0,88	0,46	0,62	0,62	0,59	0,90	0,62	1				
CG2	-0,32	-0,05	0,17	-0,21	-0,28	-0,45	-0,22	0,01	-0,19	0,91	10,00	0,23	0,37	0,23	0,58	0,30	0,35	0,28	0,28	0,34	0,51	0,12	0,48	1			
CO2it	0,08	-0,02	0,05	0,22	0,24	0,27	0,26	0,06	0,08	-0,32	-0,28	0,57	0,36	0,57	-0,68	-0,37	0,44	0,54	0,54	0,47	-0,65	-0,48	-0,25	-0,28	1		
BM	-0,14	-0,10	0,12	0,19	0,14	0,28	0,21	0,05	0,04	-0,16	-0,09	0,54	0,43	0,54	-0,33	-0,57	0,70	0,59	0,59	0,63	-0,57	-0,79	-0,25	-0,09	0,86	1	
pHe1	-0,07	0,02	-0,12	-0,04	0,08	0,20	0,14	0,01	0,06	-0,53	-0,51	-0,68	-0,82	-0,68	-0,71	-0,81	-0,57	-0,69	-0,69	-0,68	-0,88	-0,50	-0,99	-0,51	0,21	0,14	
pHk1	0,25	0,10	-0,14	0,08	0,22	0,16	0,21	0,03	0,09	-0,57	-0,58	-0,20	-0,46	-0,20	-0,98	-0,29	-0,53	-0,31	-0,31	-0,45	-0,74	-0,02	-0,61	-0,58	0,53	0,12	
pHe2	0,08	0,07	-0,15	0,01	0,15	0,18	0,17	0,02	0,08	-0,59	-0,59	-0,54	-0,75	-0,54	-0,89	-0,61	-0,64	-0,60	-0,60	-0,66	-0,87	-0,28	-0,89	-0,59	0,34	0,10	
pHk2	0,28	0,14	-0,19	-0,03	0,13	0,02	0,09	0,00	0,07	-0,47	-0,51	-0,50	-0,69	-0,50	-0,76	-0,06	-0,86	-0,62	-0,62	-0,76	-0,45	0,32	-0,51	-0,51	0,06	-0,36	

3.5.2. Représentation des variables selon les axes

Les **Figures 27 et 28** représentent, dans un espace bidimensionnel, l'ensemble des descripteurs. La variance expliquée par les trois axes est respectivement de 38,28% pour l'axe principal, 21,37% pour le second axe et 11,44% pour le troisième axe soit un total de 71,09 %.

Les descripteurs qui contribuent à la définition de la variance de l'axe principal sont : l'azote total (7,7% pour l'horizon 0-5 cm ; 6,7% pour l'horizon 5-10 cm) ; le carbone total (5,7% ; 6,3%) ; les limons fins (5,9% ; 6,85%) et pHeau (77,8% ; 7,7%) soit un total de 71,09 %.

Les descripteurs phosphore assimilable (5,3% ; 6,8%), biomasse microbienne (13,4%) et le CO₂ total (14,4%) contribuent beaucoup plus à la formation du second axe. Quant au troisième axe c'est le groupe des descripteurs litière (15,4%) argile (11,9% dans l'horizon 0-5 cm ; 14,8% dans l'horizon 5-10 cm) qui contribuent fortement à la formation de cet axe.

Les variables, carbone total, limons fins et pHeau, sont expliquée par l'axe F1 qui est l'axe qui donne la plus grande variabilité 38,28%. Ces variables sont donc les plus déterminants ou celles qui expliquent le mieux les variabilités observées entre parcelles (14 ans, 20 ans, 21 ans, 24 ans, 30 ans).

3.5.3 Projection des individus selon les axes principaux

La projection donne, selon les axes, des ensembles groupés ou sous-populations proches de certains variables (**Figure 29**). Ces sous populations sont en effet les différents groupes d'âges (20 ans, 21 ans, 24 ans et 30 ans).

La sous population de 20 ans se regroupe autour de l'axe F1 et se rapproche beaucoup plus des variables (azote total, carbone total, matière organique totale et limons fins) des deux horizons (0-5 et 5-10 cm). Cette sous-population de 20 ans est aussi opposée symétriquement à celle de 21 ans qui se rapproche quant à elle des variables pHeau et pKcl.

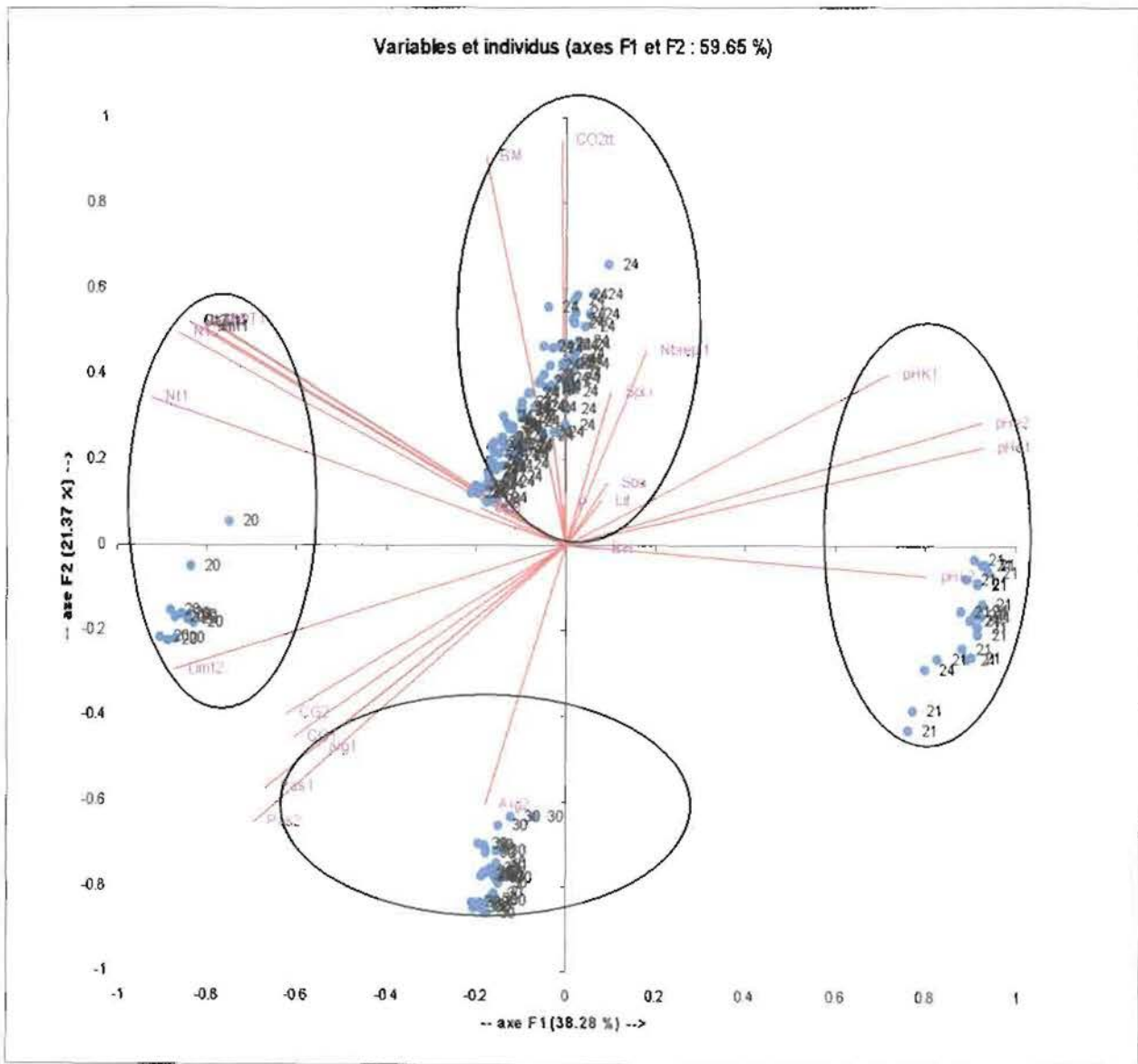


Figure 29. Projection des individus et des variables selon le plan F1, F2

Concernant la sous population de 24 ans, elle se rapproche du centre du cercle et des variables (biomasse microbienne, dégagement de CO₂ total) et des variables végétatives (nombre de ligneux, surface basale, espèces ligneuses et herbeuse). La dernière sous population (zaï de 30 ans), proche de l'axe F2, est symétriquement opposée à la sous-population formée par l'ensemble des carrés du zaï de 24 ans, est voisine des variables charge graveleuse et phosphore assimilable des deux horizons.

DISCUSSION

Le but du travail était d'examiner comment se mettait en place l'écosystème du zaï forestier, selon l'âge des parcelles et aussi d'étudier la diversité selon l'hétérogénéité du milieu. Il s'agissait de distinguer entre les différents facteurs susceptibles d'intervenir dans cette succession : âge de la parcelle, impact de la gestion par l'homme, effet de la toposéquence et des types de sols, action biologique (macrofaune, microflore) sur l'évolution du milieu.

Influence anthropique

Il ressort de cette étude que l'homme intervient à différents niveaux de la succession du zaï forestier, soit favorablement, soit défavorablement. Il intervient dès le départ par le creusement des trous de zaï qui exige au moins 300 heures de travail très pénible par ha aménagé et aussi dans l'apport de matière organique (compost) dans les poquets (Roose, 1990). Dans le cas de la mise en place d'un zaï forestier, l'homme intervient dans le choix des espèces à maintenir ou à introduire. En effet, les espèces retenues sont fonction des besoins des producteurs. Les critères de sélection sont fonction des besoins alimentaires ou utilitaires (Koutou, 2006): besoins en bois, en plantes médicinales, en fourrage. De plus, l'homme joue un rôle important dans la gestion au quotidien des parcelles, par la mise en place des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, paillage) et par l'introduction d'autres espèces ligneuses (il s'agit d'une gestion améliorée et assistée) et par éventuellement une mise en défens du périmètre.

Nos résultats ont montré, à la suite d'autres auteurs (Sangaré, 2002 ; Lagumvaré, 2003), que la mise en jachère et en défens des parcelles de zaï favorisait une augmentation du nombre d'individus ligneux (77 espèces ligneuses et herbacées recensées au total). La répartition de ces espèces en fonction de l'âge montre une grande homogénéité dans la parcelle de 21 ans (**Figure 7**). Les espèces comme *Vitellaria paradoxa*, *Diospyros mespiliformis*, *Stereospermum kunthianum* sont rencontrées en plus des espèces communes telles *Guiera senegalensis*, *Piliostigma reticulatum*, *Combretum micranthum*. Cela pourrait s'expliquer par l'influence anthropique plus marquée sur cette parcelle. En effet, selon la carte topographique (**Figure 5**) on peut constater la présence d'un long couloir qui divise la parcelle de 21 ans en deux. Ce couloir est un passage privilégié pour de nombreux villageois rentrant ou partant dans les champs. Par conséquent ils pourraient y disséminer certaines graines de ligneux comme par exemple *Vitellaria paradoxa*. En outre, les résultats de mesure

de l'activité des termites attestent aussi de l'effet de l'homme sur le zaï forestier. Ainsi, nous pouvons constater un grand nombre de trous de récolte dans la parcelle de 21 ans, alors que le poids de placages reste faible par rapport aux autres parcelles. Cela pourrait s'expliquer par la perturbation de l'activité des termites par le piétinement des hommes et des animaux.

Influence de la topographie

Les parcelles de zaï s'organisent autour d'une butte cuirassée (carte topographique, **Figure 5**). Nous observons au niveau des parcelles une succession de butte –glacis et bas de pente. Les résultats de l'étude montrent en effet, une variation de la charge graveleuse selon la toposéquence du milieu. Les hauts de pente ont souvent un pourcentage élevé de gravillons, traduisant une érosion des éléments fins des parties hautes vers les parties basses. Cependant des micro-toposéquences s'observent sur certains transects. La toposéquence du transect Sud montre, entre 45 à 60m (**Figure 16**) une petite cuvette. Cette cuvette est le lieu privilégié d'accumulation des éléments fins provenant de l'érosion des parties hautes de la pente. Ce qui expliquerait un faible taux de gravillons. Les sols sont profonds à ce niveau et on y rencontre les arbres les plus grands (**Tableau 4**).

Les variations de la topographie génèrent souvent des différences observables dans les conditions édaphiques du sol. Or, les activités biologiques et plus encore les populations microbiennes sont très dépendantes des caractéristiques physiques et physico-chimiques des sols.

Hétérogénéité du milieu

Les sols ne sont jamais parfaitement homogènes et la variabilité spatiale naturelle de certaines de leurs caractéristiques peut se traduire de façon significative sur les paramètres biologiques. En effet, des variabilités existent entre les carrés échantillonnés. Nous avons remarqué au cours de notre échantillonnage des zones nues dépourvues de végétation mais aussi des fourrés souvent impénétrables (transect sud au niveau de la petite cuvette). Les différences entre les carrés se traduisent souvent par des écarts types très élevés (**Figures 10 et 11**). Ainsi d'un carré à l'autre, ou d'un transect à l'autre, des différences apparaissent, tant au niveau de la végétation qu'au niveau de l'activité des termites et des microorganismes. Il faut noter que cette hétérogénéité spatiale des ressources dans le sol ne constitue pas un facteur négatif, mais au contraire joue un rôle capital. En effet, l'hétérogénéité spatiale des ressources se traduit pas une diversité des micro-habitats qui peut promouvoir la coexistence de nombreuses espèces grâce à un meilleur partage des ressources (Giller, 1996). Cette

hétérogénéité a pour conséquence la diminution de la pression de compétition et donc l'augmentation de la biodiversité.

CONCLUSION

La conservation de la biodiversité est une problématique qui se pose à l'échelle mondiale aussi bien qu'à l'échelle régionale. La biodiversité reflète et conditionne en effet l'histoire évolutive des espèces, leurs capacités d'évolution et d'adaptation, l'équilibre et la pérennité des écosystèmes. Les activités humaines sont la cause principale de la diminution de la biodiversité : destruction des milieux, surexploitation de certaines espèces. La science est sollicitée pour tenter d'expliquer, de mesurer et de caractériser tant la diversité du vivant que les raisons de son érosion ou de son maintien.

Ce travail de recherche s'inscrit dans une problématique plus générale portant sur les interactions biologiques (plantes-microorganismes-macrofaune) dans un système de zaï forestier. L'objectif principal était de déterminer l'effet des pratiques de réhabilitation sur la diversité biologique.

Il ressort des résultats de l'étude que la technique du zaï forestier permet une réinstallation et un maintien de la diversité biologique sur des terres dégradées. C'est ainsi qu'un grand nombre d'espèces ligneuses et herbacées ont été recensées. L'apparition de cette végétation s'accompagne d'améliorations des caractéristiques physico-chimiques des sols.

En outre, l'étude a permis de montrer le rôle des termites dans l'amélioration de l'infiltration de l'eau et aussi l'apport d'éléments fins (placages). Les activités biologiques et plus encore les populations microbiennes sont très dépendantes des caractéristiques physico-chimiques des sols. Enfin, il apparaît aussi dans cette étude que l'âge n'est pas le seul facteur pouvant expliquer la mise en place la diversité biologique. Les autres facteurs sont : l'effet anthropique, l'influence de la toposéquence et l'hétérogénéité du milieu.

Les différentes relations entre le sol, la végétation, la macrofaune du sol, et les microorganismes du sol peuvent se résumer à travers un schéma qui représente les différents compartiments et leurs interactions dans l'écosystème de zaï forestier (**Figure 30**).

Sur ce schéma, nous avons distingué les éléments qui nous semblaient jouer un rôle déterminant dans la mise en place du zaï forestier et dans son fonctionnement, comme dans la réussite plus ou moins grande de la réhabilitation du milieu. L'homme agit de diverses manières sur son milieu. Son action peut être positive à travers la mise en place de cordons pierreux et l'introduction d'autres espèces ligneuses contribuant à l'amélioration de la diversité biologique dans le zaï. Cependant, il peut jouer aussi un rôle négatif, lui-même et ses troupeaux, par les piétinements du sol qui perturbent l'activité des termites.

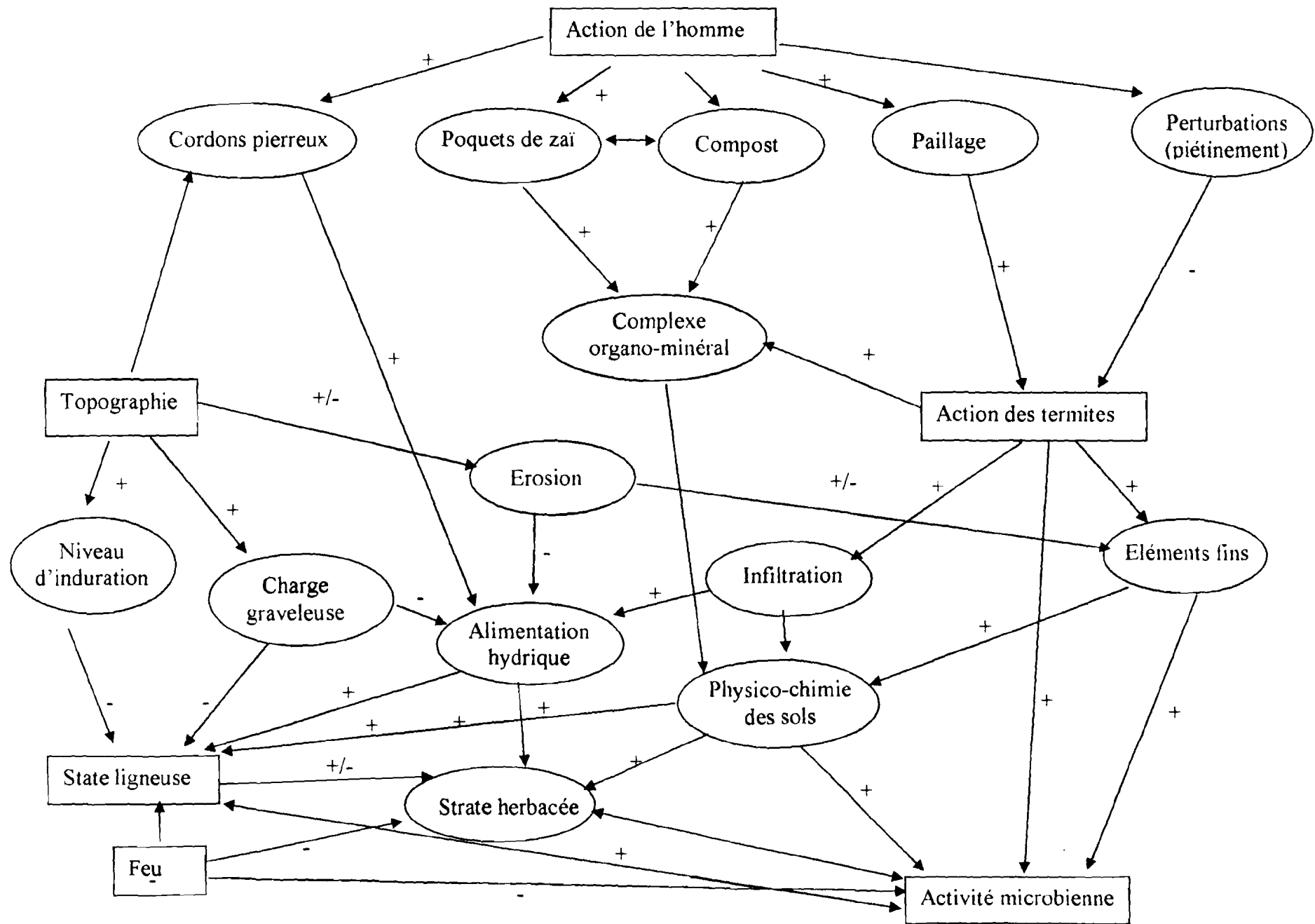


Figure 30. Schéma des interactions à l'oeuvre dans la mise en place du zaï forestier
 (□) Élément déterminant ; (○) Élément en interaction

Un rôle extrêmement négatif et déterminant sur l'écosystème est joué par le feu, accidentel ou mis par l'homme. On a montré dans ce mémoire, qu'un feu datant d'environ 25 ans possède encore des traces mesurables sur l'écosystème (densité des ligneux).

La topographie est également un élément déterminant de cet écosystème, en ce sens qu'elle est reliée au niveau d'induration et à la charge graveleuse (importance de la réserve hydrique qui en découle) et par la catena de sols qui se met en place.

L'action des termites, en interaction avec les pratiques mises en oeuvre par le producteur (paillage, apport de compost dans les poquets) et avec les compartiments végétal et microbien, est aussi un élément important à prendre en compte. Leur rôle est surtout de renforcer l'évolution du milieu et d'accélérer la réhabilitation dans les conditions favorables, par accroissement de l'infiltration et apport d'éléments fins en surface du sol. En les manipulant par le paillage, le paysan peut revégétaliser des espaces plus difficiles à récupérer.

Les strates ligneuse et herbacée jouent toutes deux un rôle important dans l'écosystème de zaï forestier et le caractérisent. Mais nous considérons que le compartiment ligneux joue un rôle prépondérant, du fait de sa pérennité. Il agit, positivement ou négativement sur la strate herbacée, selon les situations et l'âge du zaï, il permet le maintien des populations de la macrofaune des sols, et notamment des termites, en saison sèche, en fournissant une litière abondante et variée.

Enfin, le compartiment microbien est un élément essentiel de cet écosystème, par le contrôle des mécanismes de décomposition et de recyclage des éléments nutritifs pour les plantes. Son rôle est mal connu. Notre travail a permis de montrer quelques interactions qui existent entre ce compartiment et les autres facteurs mesurés. Des travaux préliminaires sur la diversité catabolique des populations microbiennes ont été réalisés au cours de notre stage, mais non inclus dans le présent mémoire. Une étude compréhensive du rôle du compartiment microbien dans le fonctionnement du système zaï forestier reste à faire.

La **Figure 30** représente les interactions qui existent dans l'écosystème, à partir de ces 5 éléments déterminants. Nous notons la mise en place de feed-back positifs, par exemple entre l'action des termites et la végétation, ou entre l'activité microbienne et la végétation ligneuse. Mais la fragilité de l'écosystème de zaï forestier, due aux sols et aux facteurs climatiques, peut entraîner la mise en place de feed-backs négatifs qui empêchent la restauration de se dérouler correctement. C'est le cas du passage d'un feu particulièrement dévastateur, qui expose le sol à l'érosion, empêchant durablement la végétation ligneuse de s'y réinstaller.

Nous retenons de cette étude que :

- le zaï est une technique traditionnelle dont l'adoption par les populations ne pose pas de problème contrairement à d'autres techniques exogènes de conservation et de gestion des sol. Elle est connue du monde paysan et de plus en plus pratiquée ;
- l'investissement est essentiellement physique, puisqu'il n'y a pas d'utilisation d'engrais minéraux. De ce fait, c'est une technique agro-écologique et agro-sylvo-pastorale. Elle permet donc une gestion durable de la fertilité des sols et de limiter les pollutions dues à l'utilisation des engrais minéraux ;
- le zaï est un excellent outil non seulement de récupération (réhabilitation) des terres dégradées, mais aussi de conservation de la biodiversité.

Mais, mis à part une production agricole rendue possible et notablement améliorée par la technique du zaï, une réhabilitation sur le long terme et une gestion durable de la biodiversité de ces milieux demande de mieux inclure l'arbre dans ces processus de réhabilitation. C'est pourquoi l'étude des jachères de zaï, et en particulier le zaï forestier, est intéressante par les enseignements qu'elle permet de tirer.

Compte tenu des limites de cette étude, et pour mieux appréhender l'effet des pratiques de réhabilitation sur l'évolution des milieux dégradés, nous préconisons en perspective que des études ultérieures soient menées sur :

- l'impact des termites sur la disponibilité du phosphore assimilable ;
- le rôle des termites dans la régénération d'espèces ligneuses comme herbacées ;
- l'effet de la qualité de la litière sur l'activité et la diversité des microorganismes ;

Aussi, il serait souhaitable, de poursuivre l'étude de la caractérisation microbiologique par des analyses plus poussées telles que les numérations bactériennes et fongiques.

En outre, dans la mesure où les données ont été obtenues par des relevés ponctuels, il serait souhaitable de mener des suivis sur un certain nombre d'années pour montrer l'évolution de la diversité biologique dans le zaï. Une analyse plus approfondie des facteurs locaux, favorables ou défavorables, qui accélèrent, ou ralentissent, les processus de réhabilitation, serait également nécessaire. De plus, un investissement en modélisation serait indispensable afin de maîtriser les multiples interactions entre les paramètres biologiques, microbiologiques et physico-chimiques des sols et pouvoir élaborer des scénarios d'évolution de cet écosystème.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aasen, W.L. 1990. Ecological combining ability and competitive combining in plants: toward a general evolutionary theory of coexistence in systems of competition. *American Naturalist*, 122: 707-731.
- Abbadie, L. and Lepage M., 1989. The role of subterranean fungus-comb chambers (Isoptera, Macrotermitinae) in soil nitrogen cycling in a preforest savanna (Côte d'Ivoire). *Soil Biology and Biochemistry*, 21(8): 1067-1071.
- Abbadie, L., Lepage, M. Le Roux. 1993. Soil fauna at the forest savanna boundary : role of termite mounds in nutrient cycling. In : *Nature and dynamics of forest- savanna boundaries* (P.A-Furley, J.Proctor et J.A. Ritter, eds), Chapman and Hall, London, pp. 473-484.
- Abe, T., Simon, A. and Masahiko H. 1997. *Biodiversity, an ecological perspective*, Springer-Verlag, New York, Inc, 294 p.
- Akpo E. et Grouzis M., 1997. Interactions arbre/herbe en zones arides et semi-arides d'Afrique : état des connaissances, In : *Les parcs agroforestiers des zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest*, BONKOUNGOU et *al.*, (Eds), Nairobi ICRAF, pp 64-78.
- Akpo, L.E., 1993. Influence du couvert ligneux sur la structure et le fonctionnement de la strate herbacée en milieu sahélien. *Les déterminants écologiques TDM*, ORSTOM, Paris : 174p.
- Akpo L.E., Grouzis M., 1993. Etude comparée de la phénologie de la strate herbacée sous et hors couvert ligneux en milieu sahélien. *Webbia*, 42 : 16p.
- Amato, M. and Ladd, J.N. 1988. Assay for microbial biomass based on ninhydrin- reactive nitrogen in extracts of fumigated soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 20: 107-114
- Amato, M., Ladd J.N (1992). Decomposition of C. labeled glucose and legume material in soils: properties influencing the accumulation of organic residue C and microbial biomass C. *soil Biology and Biochemistry*, 24: 455-464.
- Anderson J.P.E, Domsch K.H. (1978). A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 10, 215-221.
- Anderson T.H., 1994. *Physiological analysis of microbial communities in soil: applications and limitations and functional analysis of soil microbial communities*. Ritz K., Dighton J. et Giller K.E Eds; John Wiley et Sons (UK); pp67-76.

- Anderson, T.H. and Domsch K.H., 1993. The metabolic quotient for CO₂ (qCo₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 25:393-395.
- Arshad, M.A., 1982. Influence of the termite *Macrotermes michaelseni* (Sjöst) on soil fertility and vegetation in semi arid savannah ecosystem. *Agro-Ecosystems*, 8; 47-58.
- Bachelier, G., 1978. La faune des sols, son écologie et son action. ORSTOM Bondy, Documents techniques 38 : 391p.
- Bell, R. V. H., 1982. The effect of soil nutrient availability on community structure in African ecosystems. In B.J. Huntley and B.H. Walker, editors, *Ecology of tropical savannas*, pp 193-216.
- Biolog., 1993. *Manuel for the identification of Gram Negative Bacteria*. BIOLOG Inc., Hayward, CA.
- Black, H.I.J. and Okwakol M.J.N., 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agrosystem function in the tropics: the role of termites. *Applied soil Ecology*, 6: 37-53.
- Borga, P., Nilson M., and Tunlid A., 1994. Bacterial communities in peat in relation to botanical composition as revealed by phospholipid fatty acid analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 7:841-848.
- Bossio, D.A, Scow K.M., Gunapala N., and Graham K.J., 1998. Determinants of soil microbial communities: effects of agricultural management, season and soil type on phospholipid fatty acid profiles. *Microbial Ecology*, 36: 1-12.
- Boulet, R., 1968. *Etude pédologique de la haute vota, Région Centre-Nord*, ORSTOM, Dakar 351p.
- Boyer, Ph., 1956 ab. Les bases totales dans les matériaux de la termitière de *Bellicositermes natalensis*. 6^e congr. Int. Sci. Sol, Paris 3, 17 : 105-110.
- Boyer, Ph., 1975. Etude particulière de trois termitières de *Bellicositermes* et leur action sur les sols tropicaux *Ann. Sci. Nat. Zoologie, Paris*, 17, 12^{ème} série : 273-446.
- Brondex, P.A., 1995. Dynamique de la matière organique des sols dans les jachères herbeuses et arbustives en région soudanienne (Bondonkuy, Burkina-Faso) rapport de stage de maîtrise, Université de Paris VI. 21p.
- Bourzat, 1992. Recapitalisation du cheptel (Yatenga, Burkina Faso) . In : le developpement Agricole au sahel, Tome III. CIRAD-IEMVT. pp189-210.
- Brussaard L., 1998. Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Applied soil Ecology* 9: 123-135.
-

- Buxton R.D., 1981. Termites and turnover of dead wood in an arid tropical environment. *Oecologia* 51: 379-384.
- Chabrierie, O., Poudevigne I., Bureau F., Vincelas-Akpa M., Nebbache S., Aubert M., Bourcier A., & Alard D., 2001. Biodiversity and ecosystems functions in Wetlands: a survival soil CO₂ efflux in pine and poplar plantations. *Plant and Soil*, 225: 129-139.
- Chadzon L.R., Colwell R.K., Denslow J.S et Guariguata M.R., 1998. Statistical methods for estimating species richness of woody regeneration in primary and secondary rain forest of Northeastern Costa Rica. In : *Forest biodiversity research, monitoring and modeling: conceptual background and old world case studies* (eds. F. Dallmeier et J.A. Comiskey. Unesco Paris and the Parthnon Publishing Group pp285-308.
- Chao, .A., 1984. Non-parametric estimation of the number of classes in a population. *Scandinavian Journal of statistics*, 11:265-70.
- Chao, A., 1987. Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. *Biometrics*, 43: 783-91
- Chaussod R., Houot., 1993. La biomasse microbienne des sols : perspectives d'utilisation de cette mesure pour l'estimation de la fourniture d'azote par les sols. In : *Matières organiques et agricultures*, J.Decroux et J.C. Ignazi Eds, pp17-26.
- Chaussod, R. 1996. La qualité biologique des sols : evaluation et implication. *Etude et gestion des sols. Numéro Spécial*, 3: 261-279.
- Chaussod, R., Nicolardot, B., Catroux, G.Chretien, J., 1986. Relations entre les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de quelques sols cultivés. *Science du sol*, 24 : 213-226
- Chotte, J.L., Blanchart, F. and Lavelle, P. (1995). Gestion durable des terres en milieu tropical. Régulation biologique des processus de décomposition de la matière organique. In *Sustainable land management in Africa semi-arid and subhumid regions*, proceedings of the scope workshop, 15-19.
- Chotte, J.L., Schwartzmann, A., Bally, R., and Monrozier, L.Z., 2002. Change in bacterial communities and Azospirillum diversity in soil under 3 or 19 years of natural fallow. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 1083-1092.
- Coleman, D.C; Anderson, R.V; Elliott, E.T., Woods, L. Campion, M.K. (1978). Tropic interactions in soils as they affect energy and nutrient dynamics IV. Flows of metabolic and Biomass carbon, *Microb. Ecol.*, 4:373-380
- Collins, N.M. 1983. the utilization of nitrogen as an Ecological Factor. The 22nd Symposium of the British Ecological Society, Oxford, 1981, pp 381-412.

- Colwell, R.K., 2006. EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8. Persistent URL < purl.oclc.org/estimates >.
- Dakio, L., 2000. Contribution à l'analyse des critères de durabilité du Zaï dans le Yatenga : Effets du zaï sur le niveau organique et minéral des sols et sur les rendements du sorgho dans le Yatenga et le Zandoma. Mémoire de fin de cycle, IDR, 84 p.
- Daniel, A., 2002. Initiation à l'agroforesterie en zone sahélienne. IRD Editions et Karthala 220p.
- David F., 2003. Action de la macrofaune sur la fertilité des sols dans une succession végétale: rôle des termites dans un système de zaï forestier au Yatenga (Burkina Faso). Mémoire d'ingénieur-Maître, Institut Universitaire Professionnalisé Environnement, Technologies et Société, 25p.
- Degens, B.P. and Harris .A., 1997. Development of a physiological to measuring the catabolic diversity of soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 29: 1309-1320.
- Degens, B.P., Schupper, L.A., Sparling, G.P. et Vukovic M., 2000. Decreases in organic C reserves in soils can reduce the catabolic diversity of soil microbial communities. *Soil Biology et Biochemistry* 32 : 189-1996.
- Delaite et Pastor 1997. Manuel des techniques de conservation des eaux et des sols (CES) au sahel edition PRECONS. Programme régional de reboisement et de conservation des sols au sahel. 345p.
- Deprince, A., 2003. La faune du sol : diversité, methods d'étude, fonctions et perspectives. *Le Courrier de l'Environnement* n° 49, juin 2003, pp 123-138.
- Deshmukh I., 1989. How important are termites in the production ecology of African savannas. *Sociobiol* 15: 155-168.
- Diallo 2003. Effet de la qualité des litières de quelques espèces végétales sahéliennes sur la mineralization de l'azote. Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 140p.
- Dickman, S.R. and Bray, R.H., 1940. Colorimetric determination of phosphate. *Ind. Eng. Chem., Anal. Ed.*, 12 : 665-668.
- Doran, J.W., 1987. Microbial biomass and mineralizable nitrogen distribution in no-tillage and plowed soils. *Biology and Fertility of Soils*, 5: 68-75.
- Duchaufour P., Verdy, C. Brukert, S. 1968. Contribution à l'étude expérimentale in situ de l'évolution chimique et de l'altération d'un grès et d'un granite Vosgien sous l'influence de deux types de litières. *Bull. AFES*, 1 : 5-18.

- Dugué P., 1989. Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de cultures vivrières en zone soudano-sahélienne : le cas du Yatenga (Burkina Faso). Département système agraire du CIRAD, N° 9, 350p.
- Duponnois, R., Paugy M., Thioulouse, J., Masse, D. and Lepage M., 2004 Functional diversity of soil microbial community, rock phosphate dissolution and growth of *Acacia seyal* as influenced by grass litter and soil feeding termite nest structure amendments *Geoderma*, 124 :349-361.
- Duthil, J.1973. Elements d'écologie et d'agronomie. Collection des ingénieurs des techniques agricoles. Edit. JB. Baillière Tome II.262 p.
- Eschenbrenner V., 1986. Effects of termites on micro-aggregation in tropical soils. Cahier ORSTOM, Pédologie 22: 397-408.
- Feller C., Fritsch E., Poss R., Valentin C., 1991. Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques (Afrique de l'Ouest en particulier). Cah. ORSTOM, ser. Peol.,26: 25-36.
- Floret, C., et Pontanier, R., 2000. La jachère en Afrique Tropicale. Editions John Libbey Eurotext paris, 777p.
- Fontes J. and Guinko, S., 1995. Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso, Centre National de la Recherche Scientifique de l'université de Toulouse III, Institut de développement rural, Faculté des sciences et techniques de l'Université de Ouagadougou, Ministère de la coopération Française, Projet campus 88313101.
- Fournier A, hoffman O. et Devineau J.L, 1982 variation de la phytomasse herbacée le long d'une toposequence en zone soudano-guinéenne, Ouang-Fitini (Côte d'Ivoire) Bull. Ifan, 44, Ser.A(1-2) :71-77.
- Garland J.L., Mills A.L., 1994. A community-level physiological approach for studying microbial communities. in: *Beyond the biomass. Compositional and functional analysis of soil microbial communities.* K.Ritz, J. Dighton et K.E Giller, Eds, John Wiley et sons (UK), pp 77-83.
- Garcia-Gil, J.C., Plaza,C., Solver-Rovra P. Polo, A 2000, Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and Biochemistry,32 : 1907-1913.
- Giller, P.S (1996). The diversity of soil communities, the poor man' tropical rainforest' *Biodivers. Conserv.* 5, 135-168.

- Gobat, J.M., Aragno, M. and Mathey, W., 1998. Le sol vivant: bases de pédologie et de biologie des sols. Coll. Gérer l'environnement. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne, 523 p.
- Gourzis M., Nizinski J., Akpo L.E, 1991. L'arbre et l'herbe au sahel. Influence de l'arbre sur la structure spécifique et la production de la strate herbacée et sur la régénération des espèces ligneuses. IV^e congrès International des terres de Parcours, Montpellier, 22-26 Avril, 207-210.
- Grace, J.D. and Tilman D., 1990. Perspectives on plant competition. Academic. San Diego
- Grassé P.P; 1984. Termitologia. Tome II. Fondation des sociétés, construction Ed. Masson Paris 613p.
- Grayston, S.J., and Campbell C.D., 1996. Functional biodiversity of microbial communities in rhizosphere of hybrid larch (*Larix eurolepis*) and Sitka spruce (*Picea sitchensis*). Tree physiology, 16 : 1031-1038.
- Grayston, S.J., Griffith, G.S., Mawdsley, J.L., Campbell, C.D., and Bardgett, R.D., 2001. Accounting for variability in soil microbial communities of temperate upland grassland ecosystems. Soil Biology and Biochemistry, 33: 533-551.
- Hairiah, K., Williams, S.E., Bignell, D., 2001. Effects of land use change on belowground biodiversity. International Centre for Research in Agroforestry, 32p.
- Hendrix, P.F., R.W. Parmelee, D.A. Crossley, D.C. Coleman, E.P. Odum, and P.M. Groffman. 1986. Detritus food webs in conventional and no-tillage agroecosystems Bioscience 36: 374-380.
- Hillebrand, W.F., Lundell, G. E. F, Bright, H.A and Hoffman, J.I., 1953. Applied inorganic analysis, 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc., New York, USA, 1034p.
- Holt J.A and Lepage M., 2000. Termites and soil properties. In Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology (T.Abe, D.E. Bignell and M. Higashi, eds). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 389-407.
- Hooper, D.U. and Vitousek P.M., 1997. The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. Science, 277:1302-1305.
- INERA, 2000. Rapport sur les acquis scientifiques (1992-1999) du département gestion des ressources naturelles et systèmes de production (GRN/Sp). Ouagadougou, 139p.
- INSD (Institut national de la statistique et de la démographie), 2000. Analyse des résultats du recensement général de la population et de l'habitation de 1996. Rapport de synthèse, Ouagadougou, 43p.

- Jones, C.G., Lawton J.H. and Shachak M., 1994. Organism as ecosystem engineers. *Oikos*, 69 (3): 373-386.
- Jones., 1990. Termites, soil fertility and carbon cycling in dry tropical Africa : a hypothesis. J.H, Bignell D.E, Bloemers G.F, Eggleton P., Hodda M.E., 1996. Carbon flux and diversity of nematodes and termites in Cameroon forest soils. *Biodiv Conserv* 5: 261-276.
- Jouquet, P., Mery T., Rouland C., Lepage M., 2003. Modulated effect of termite *Ancistrotermes cavithorax* (isopteran, Macrotermitinae) on soil properties according to the structures built. *Sociobiol* 42: 403-412.
- Kaboré, T.W., 2005. Usage des fumures organiques dans les systèmes de culture et viabilité des agro-systèmes en zone soudano-sahélienne : cas du zaï à Ziga dans le Yatenga (Burkina Faso). Thèse de mastère spécialisé « développement agricole tropicale » Centre Nationale d'étude agronomique des régions chaudes, IRD, 103p.
- Knoop, W.T., et Walker, B.H, 1985. Interactions of woody and herbaceous vegetation in southern African savanna. *Journal of Ecology* 73 (1): 235-253.
- 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 Doctorat Université Paris 6.
- Kourtev, P.S.Ehrenfeld, J.G., Häggblom, M., 2002. Exotic plant species alter the microbial community structure and function in the soil. *Ecology* 83:3152-3166.
- Koutou M., 2006. Déterminants de l'adoption du zaï forestier et perspectives de valorisation de la technologie au Yatenga (Burkina Faso). Mémoire d'ingénieur du développement rural IDR 77 pages.
- Laguemvaré, T. A., 2003. Reconstitution des sols dégradés et de la diversité biologique : étude de la succession végétale et de l'action des termites dans un système de zaï forestier (province du Yatenga, Burkina Faso)". Mémoire de fin d'étude, IDR, 80p.
- Lavelle, P., 1997. Faunal activity and soil processes : adaptative strategies that determine ecosystem function. *Adv. Ecol. Res.*, 27: 93-132.
- Lawton J.H., Bignell D.E, Bloemers G.F., Eggleton P., Hodda M.E., 1996. Carbon flux and diversity of nematodes and termites in Cameroon forest soils. *Biodiv Conserv* 5: 261-273.
- Lee, K.E. and Wood, T.G., 1971. Termites and soils. Academic Press, London and New York, 251 p.

- Lepage et al., 2004. Utilisation d'inoculum biologiques pour l'amélioration de la production maraîchère dans la province de la Komondjari page 23
- Lepage, M., 1974. Les termites d'une savane sahélienne (Ferlo septentrional, Sénégal): peuplements, populations, consommation, rôle dans l'écosystème. Thèse Univ. Dijon, 344p.
- Lepage, M.G. 1981. L'impact de populations récoltantes de *Macrotermes michaelni* (Sjostedt) (Isoptera: Macrotermitinae) dans un écosystème semi-aride (Kajiado, Kenya). Insectes Sociaux, 28 :297-308.
- Lepage M., Duponnois R., 2006. De la poudre de termitière pour les jardins. Sciences au Sud, 35, mai/juin 2006, p11.
- Lobry de Bruyn, L.A. and Conacher, A.J., 1990. The role of termites and ants in soil modification a review. Australian journal of soil Research 28: 55-93.
- Louppe D., Olivier R., Ouattara N et Fortier M. 1998. Impacts des feux répétés sur les sols des savanes du centre de Côte d'Ivoire. Communication faite lors du séminaire International sur « Aménagement intégré des forêts naturelles de l'Ouest » tenu à Ouagadougou (Burkina Faso) du 16 au 20/11/1998 ; 11p.
- Louppe, D., 1996. Température du sol après feu de brousse- Mise à feu de la parcelle feu tardif. Konkodéko-8 mars 1996. IDEFOR/DFO/CIRAD-Forêt. Korogho-Abidjan, Côte d'Ivoire, 8p.
- Maldague, E., 1964. Importance des populations de termites des sols équatoriaux. Proc. 8 th int. Congo- soil Science Bucharest, pp.743-751.
- Mando, A., 1997. The role of termites and mulch in the rehabilitation of crusted sahelian soil, tropical resources management. Thèses, Wageningen Agriculture Université, 101p.
- Mando, A.; Zougmore, R.; Zombré, N.P. and Hien, V., 2000. Réhabilitation des sols dégradés dans les zones semi-arides de l'Afrique subsaharienne. In La jachère en Afrique tropicale, vol 2, pp 311-339.
- Mangenot, F. 1980. Les litières forestières, signification écologique et pédologique. Rev. For. Fr., 4 : 339-355.
- Marchal, J.Y., 1983. Yatenga, nord Haute-Volta : la dynamique d'un espace rural soudano-sahélien. Ed. ORSTOM, 908p.
- Masse D., Hien V., Bilgo A, Diatta M., Manlay R.J. Chotte J.L., 2005. Matières organiques et activités biologiques dans les sols tropicaux des cycles culture-jachère. Séminaire International « Territoire et aridité au Nord et au Sud du Sahara » la lutte contre la

dégradation des terres, bilan des acquis et nouvelles perspectives de recherches. Tunis ,
Juin 2005.

- Masson, H., 1949. La température du sol au cours d'un feu de brousse au Sénégal. Bull Agric. Congo Belge, 40, 1933-1940
- Matsumoto, T. and Abe, T., 1979. The role of termites in an equatorial rain forest ecosystem of west Malaysia. 2. Leaf litter consumption on the forest floor. *Oecologia* 38: 261-274.
- Mitja D. 1992. Influence de la culture itinérante sur la végétation d'une savane humide de Côte d'Ivoire (Boro-Borotou ,Touba), Paris, ORSTOM 270 p.
- Mitja, D., 1990. Influence de la culture itinérante sur la végétation d'une savane humide de Côte d'Ivoire (Booro-Borotou, Touba). Thèse Doctorat. Université de Paris VI, Paris.
- Musvoto, C., Campbelle, B.M. Kirchman H., 2000. Décomposition and nutrient release from mango and miombo woodland litter in Zimbabwe. *Soil Biology and Biochemistry* 32 :1111-1119.
- Ndiaye D.,2003. Impact des structures biogéniques de termites sur l'activité et le fonctionnement des communautés microbiennes du cycle de l'azote, en zone soudano-sahélienne, Thèse de Doctorat, Université PIERRE ET MARIE CURIE Paris 6, 216p
- Nicolardot, B., Houot, S. Recous, S., (1996). La dynamique de l'azote dans les sols cultivés dans: Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes, Inra (Eds.), Paris pp.87-103.
- Paul, E.A.,Clark, F.E. 1989. *Soil microbiology and Biochemistry* Academic Press, INC. 275p
- Pieri C.,1989. Fertilité des terres de savanes .Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au Sud du Dahara. Ministère de la coopération.444p
- Priha, O., Grayston S.J., Pennanen T. & Smolander, A., 1999. Microbial activities related to C and N cycling and microbial community structure in the rhizosphere of *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula pendula* seedlings in an organic and mineral soil. *FEMS Microbiology Ecology* 30: 187-199.
- Projet 83 « Recherche sur des technologies de lutte contre la Désertification au sahel et etude de leurs impacts agro-écologiques et socio-économie », 2003. Rapport d'activité .78p.
- Raunet., 1979. The importance and interactions of geochemical, hydrological and biological (termites) processes on tropical granito-gneissic penepains in Westren Kenya *Agr Trop.* 34: 40-53.
- Ricklefs, R.W.1977. Environnement heterogeneity and plant species diversity: a hypothesis. *American Naturalist*, 111: 376-381.
-

- Robert M., Chenu, C. 1992. Interactions between soil minerals and microorganisms. In: soil Biochemistry, vol 7 G. Stotzky et J.M.Bollag Eds. Marcel Dekker (Ny, USA), pp 307-404.
- Rochette, R.M.,1989. Le sahel en lutte contre la désertification, leçons d'expériences. Comité inter-Etat de lutte contre la sécheresse au sahel (CILSS) et Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) ; Verlage Josef Margraf, République Fédérale d'Allemagne, 592p.
- Roose E., 1976. Contribution à l'étude de l'influence de la mésofaune sur la pédogenèse actuelle en milieu tropical. Rapp.mult. ORSTOM-Abidjan, 56p.
- Roose E., Rodriguez L., 1990. Aménagement de terroirs au Yatenga, Nord-Ouest du Burkina Faso : quatre années de gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols (GCES). Bilan et perspectives ORSTOM : ETSHER, Montpellier 40p.
- Roose, 1989. Gestion conservatoire des eaux et de la fertilité des sols dans les paysages soudano-sahéliens de l'Afrique de l'Occidentale ORSTOM N°27 pp 55-72.
- Roose, E., Dugué, P. and Rodriguez L., 1993. L'aménagement des terroirs villageois et l'amélioration de la production agricole au Yatenga (Burkina Faso). Une expérience de recherche-développement. Cahiers ORSTOM, Série Pédologique, 27 (2) : 385-402.
- Roose, E., Kabore, V. and Guenat, C., 1995. Le zaï, une technique traditionnelle africaine de réhabilitation des terres dégradées de la région soudano-sahélienne (Burkina Faso). In R. Pontanier, A M'Hiri, N Akrimi, J. Arronson, I.E. Folche (Ed.), L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait. Paris, pp: 249-265.
- Rouland C., Lepage M., Chotte J.L., Diouf M., Ndiaye D., Ndiaye S., Seugé C., Brauman A., 2003. Experimental manipulation of termites (Isoptera : macrotermitinae) foraging pattern in a sahelo-sudanese savanna : effect of litter quality. Ins Soc 50: 1-8.
- Sands, W.A., 1969. The association of termites and fungi. In: K. Krishna and F.M Wees ner, eds. Biology of termites, vol.1, pp.495-524. Academic Press, New York.
- Sangaré, S. K, 2002. Evaluation des performances agro-écologiques des techniques de lutte contre la désertification dans les provinces du Passoré et du Yatenga : cas du zaï, de la demi-lune et du tapis herbacé. Mémoire de fin d'étude I.D.R., 83p.
- Schultze, E.D.,and Mooney H.A., 1993. Biodiversity and Ecosystem function. Springer. Berlin.
- Somé D., Zombré P.N., Zombré G., Macauley H.R, 2004. Impact de la technique du zaï sur la production de nièbè et sur l'évolution des caractéristiques chimiques des sols très

- dégradés (Zipellés) du Burkina Faso. Note de recherche. John Libbey EUROTEXT, science et changements planétaire/ Sécheresse. Volume15, numéro 3, 8 p.
- Sorensen H.1983. Size and persistence of the microbial biomass formed during the humification of glucose cellulose , and straw en soils containing different amount of clay. Plant et soil, 75, pp 121-130.
- Sorensen J. (1997). The rhizosphère as a habitat for soil microorganisms. In: Modern soil microbiology. Van Elsas J.D, Trevors J.T, Wellington E. M.H. (Eds). Marcel Dekker, INC. New york, pp.21-45.
- Spain , A.V., Gordon, V., Reddell P., Correll R., 2004. Ectomycorrhizal fungal spores in the mound of tropical Australian termites (Isoptera). Eur J. Soil Biol 40: 9-10
- Stephan, A.H., Meyer and & B. Schmid., 2000. Plant diversity affects culturable soil bacteria in experimental grassland communities. Journal of Ecology, 88: 988-998.
- Stotzky, G., 1997. Soil as an environment for microbial life. In : Van Elsas, J. D., Trevors, J.T.,Wellington, E.M.H.(Eds.). Modern Soil Microbiology. Dekker, New York, pp.1-20.
- Swift, M.J., 1996. Tropical soil Biology and fertility (TSBF) :International Research Palnnig Workshop. Biology International, Special Issue 13. IUBS, Paris.
- Swift, M.J., Heal, O.W. Anderson, J.M.,1979. Sécomposition in Terrestrial Ecosystems Studies in Ecology, vol. V. Oxford, Black Welle Scient. Publ., 372p.
- Tano Y., 1993. Les termites épigés 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 240 p.
- Tilman, D., 1982. Resource competition and community structure. Monographs in Population Biology vol. 17. Princeton Univ. Press., Princeton.
- UN, 2000. Defending the soil. UN Secretary General's report, A/544/2000, chapter C.
- Walkley, A. and Black, I.A., 1934. An examination method of the detjareff and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-38.
- Watson, J.P., 1977. The use of mounds of termite *Macrotermes falciger* (Gerstacker) as a soil amendement. Soil Science 28:664-672.
- Westover, K.M., Kennedy A.C. and Kelly S.E., 1997. Patterns of rhizosphere microbiological structure associated with co-occurring plant species. Journal of Ecology, 85:863-873.
- Wood T.G.and, Sand, W.A., 1978. The role of termite in ecosystems. In: M.V. Brian, ed. Production ecology of Ants and termites pp.245-292.

- Wood T.G., 1996. The agricultural importance of termites in the tropics. Ins: The agricultural zoology reviews (7): pp117-155.
- Wood, T.G., Johnson, R.A, Aderson, J.M, 1983. Modification of soils in Nigerian sanna by soil feeding *Cubitermes*. Soil Biol Bioc 15: 575-579
- Wu, J., Joergensen, R.G., Pommerenurg, B., Chaussod, R. Brookes, P.C., 1990. Measurement of soil microbial biomass by fumigation- extraction: an automated procedure. Soil Biol. Biochem., 22: 1167-1169.
- Young, A., 1989. Agroforestry for soil conservation. CAB International, London (ICRAF) Science and Practice of Agroforestry n° 4
- Young, A., 1995. L'agroforesterie pour la conservation du sol, Nairobi, Wageningen. ICRAF/CTA, 194 p.
- Zougmore, R,Zida, Z., Kambou, F.,2005. La jachère en Afrique de l'Ouest: Alternative. Fiche technique GRN : Récupération agronomique des terres encroutées par la technique du zaï. Fiche technique n° 9/2005/CNRST/INERA/GRN-SP/Projet jachère.
- Zombré, 2006. Variation de l'activité biologique dans les Zippella (sols nus) en zone subsahélienne du Burkina Faso et impact de la technique du zaï (technique des poquets). Biotechnol. Agron.Soc. Environ. 10(2), 139-148.
- Zombré, N.P., et Ilboudo, J.B, 1999. Stimulation de la réinstallation de la végétation naturelle dans les jachères dénudées en zone sahélienne du Burkina Faso. Univ. de ouagadougou. Projet ENRECA, IDR/FLASH document de travail n°10 : 12p.

ANNEXE 1 : Prélèvement de la biomasse herbacée et ramassage de la litière (carrés $0,5 \times 0,5$ m)



ANNEXE 2. Dosage de la biomasse microbienne

Les échantillons de sol ont été tamisés à 2 mm, afin d'éliminer les gravillons et les résidus végétaux. Deux prises de sol ont été effectuées. La première pour la mesure de la biomasse au temps zéro (T0) et la seconde pour la mesure de la biomasse après 10 jours d'incubation (T10).

1. Pré incubation

Les échantillons de sol ayant subi les mesures journalières de la quantité de CO₂ dégagée sont récupérés au 7^{ème} jour pour la quantification de la biomasse microbienne totale par la méthode de fumigation Extraction. L'extraction au KCL pour le T0 se fait immédiatement après la fin des mesures de la respiration. Pour le T10 il faut 10 jours après la mise en incubation au chloroforme.

2. Incubation au chloroforme

L'incubation se fait à 20°C pendant 10 jours dans une atmosphère saturée en chloroforme (CHCl₃), destinée à tuer les microorganismes du sol. Nous utilisons des dessiccateurs à vide entourés de papier aluminium afin de faire l'obscurité à l'intérieur. Les bécjers contenant le sol sont placés à l'intérieur du dessiccateur. Nous en ajoutons deux autres, l'un contenant du papier filtre imbibé d'eau afin de maintenir une humidité convenable à l'intérieur des dessiccateurs et l'autre contenant quelques billes de verre et 30 à 40 ml de chloroforme qui servira à la fumigation. Ensuite, nous faisons le vide avant de placer le dessiccateur à l'obscurité pendant 10 jours. Au dixième jour d'incubation, nous procédons à l'extraction.

Remarque : Le CHCl₃ a été préalablement débarrassé de l'éthanol qui le stabilisait par filtration sur l'alumine activée par passage à l'étuve.

3. Extraction au KCL

L'extraction au KCl de l'azote alpha aminé se fait de la même façon pour tous les échantillons, que se soit avant (T0) ou après fumigation (T10). Le sol contenu dans les bécjers est transvasé dans les pots. Ces derniers sont ensuite placés sur un agitateur va-et-vient pendant une heure. Avec l'aide d'une seringue nous prélevons 10 ml d'extrait qui sont filtrés à 0,45 µm à l'aide d'unités de filtration. Le filtrat est ensuite recueilli dans des flacons à scintillation. Si le dosage n'est pas effectué dans les 48 heures, les échantillons seront conservés au congélateur.

4. Dosage de l'azote microbien

- Préparation de la gamme

Il s'agit d'une gamme étalon à 3 points (0,7 et 14) contenant respectivement 0,7 et 14 $\mu\text{g/ml}$ d'azote alpha aminé. La droite de régression obtenue à partir de ces points nous permet de calculer les quantités d'azote alpha aminé contenues dans les extraits après le dosage.

- Dosage de l'azote alpha aminé

Le dosage de l'azote alpha aminé se fait en présence de réactif à la ninhydrine. Les échantillons et les points de gammes sont préparés en mélangeant 1 ml d'extrait de réactif dans un tube à essai de 70 ml. Les tubes sont bouchés avec du parafilm et plongés dans un bain marie à 100°C pendant 15 mn. Après les avoir refroidis sous un courant d'eau, nous ajoutons 13 ml d'éthanol à 50% et passons rapidement à la calorimétrie. Lorsque l'azote alpha aminé est chauffé en présence de réactif à la ninhydrine, il se forme un composé de couleur pourpre qui peut être mesuré en calorimétrie. La lecture de la densité optique se fait à la longueur d'onde 570nm.

5. Calcul de la biomasse microbienne totale. La quantité d'azote alpha aminé apparue au cours de la fumigation est obtenue en faisant la différence entre la quantité d'azote alpha aminé au temps T10 (après 10 jours incubation) et celle au temps T0. Cette quantité d'azote alpha aminé est fonction de la biomasse microbienne présente dans le sol avant fumigation. Elle est exprimée en μg d'azote/ g de sol sec.

N.B : Avant les manipulations pour les mesures de la biomasse microbienne, nous procédons d'abord à des mesures du sol à 105°C car cette mesure intervient dans le calcul final de la biomasse microbienne totale.

Formule du calcul de la biomasse microbienne totale

$$N_m = \frac{((N_{T10} - N_{T0}) \times 75)}{(P - P \times H)}$$

N_m = azote microbien ($\mu\text{g/g}$ de sol sec) ;

N_{T_0} = azote α -aminé mesuré dans les extraits KCL au temps T_0 ($\mu\text{g N ml}^{-1}$) ;

N_{T10} = azote α -aminé mesuré dans les extraits KCL après incubation de 10 jours ($\mu\text{g N ml}^{-1}$)

P = poids de l'échantillon frais (g) ;

H = humidité de l'échantillon (%) = $(\text{poids frais} - \text{poids sec}) \times 100 / \text{poids sec}$.

-Mode Opérateur :

La procédure consiste à peser les quantités de sols nécessaires pour extraire l'azote α -aminé avant incubation (T_0) et l'azote α -aminé après incubation (T_{10}).

ANNEXE 3. Description pédologique de la fosse N° G5 (Transect Nord dans le zaï 24 ans)

Date de description (auteurs) : 24/01/2007 (E. HIEN, S. F. DOAMBA et I. J.-P.ZAN)

1°/ CLASSIFICATION DU SOL

- CPCS (1967) : sol ferrugineux tropical lessivé à concrétions
 -BRM (1998) : Lixisol ferrique

2°/ ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : Gourga, département de Oula (Yatenga).
 Lat. : 13° 32,518' N
 Long. : 002°22,940' W
- Végétation et/ou utilisation : Savane arbustive sous zaï forestier à *Piliostigma reticulatum*, *Combretum micranthum*, *Sclerocarya birrea*, *Acacia polyacantha*, *Acacia seyal*, *Acacia nilotica*, *Guiera senegalensis* + tapis herbacé à *Microchloa indica*, *Pennisetum pedicelatum*, *Zornia glochidiata*, *Cassia tora*.
- Position physiographique : glacis, moyenne pente
- Topographie environnante : quasi-plat
- Microtopographie : néant
- Pente : 1%
- Matériel parental : colluvions issus de granitoïdes
- Drainage : normal
- Etat hydrique : solum sec
- Nappe : non atteinte
- Eléments grossiers en surface : Epandage de graviers ferrugineux
- Affleurements de roches et/ou de cuirasse : Butte cuirassée à 40 m au sud
- Erosion : en nappe
- Influence humaine : Zaï forestier, pâturage

3°/ DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU SOLUM

0 - 8 cm : brun rougeâtre (5YR5/4) à l'état sec et brun rougeâtre (5YR4/4) à l'état humide ; Limon sableux ; 15% de graviers ferrugineux (concrétions) ; structure polyédrique subanguleuse faiblement développée, moyenne et grossière; consistance peu dure ; nombreux pores très fins, fins et moyens; nombreuses racines très fines et fines; activité biologique bien développée ; limite distincte.

8 - 25 cm : brun rougeâtre (5YR4/4) à l'état sec et brun rougeâtre foncé (5YR3/4) à l'état humide ; limon argileux ; 60% de graviers ferrugineux (concrétions) ; structure polyédrique subanguleuse faiblement développée, fine et moyenne; consistance peu dure ; nombreux pores très fins, fins et moyens; nombreuses racines très fines, fines, grosses et moyennes; activité biologique bien développée ; limite distincte.

25 - 70 cm : rouge (2,5YR4/6) à l'état sec et brun rougeâtre foncé (5YR3/4) à l'état humide ; argileux; 50% de graviers ferrugineux (concrétions) ; structure polyédrique subanguleuse faiblement développée, moyenne et grossière; consistance peu dure ; nombreux pores très fins, fins et moyens et larges; assez nombreuses racines très fines et fines; activité biologique bien développée ; limite graduelle.

70 - 120 cm : rouge (2,5YR4/6) à l'état sec et brun rougeâtre foncé (2,5YR3/4) à l'état humide ; argileux; 5% de graviers ferrugineux (concrétions) ; structure polyédrique subanguleuse faiblement développée, fine et moyenne; consistance peu dure ; nombreux pores très fins, fins et moyens et larges; peu nombreuses racines très fines; activité biologique assez bien développée ;

Notes additionnelles : début d'induration à la base du 4^e horizon ; présence de poches à coprolithes dans l'ensemble de la fosse. Début d'induration à la base du 4^{ème} horizon

Résultats analytiques : Fosse G5 du Transect Nord dans le Zaï 24 ans

N° Fosse et Profondeur		G5 0-8	G5 8-25 cm	G5 25-70	G5 70-120	G5 Moyenne/Fosse
Analyse granulométrique	Texture	Limoneux	Limono-argileux	argileux	argileux	
	Argile %	9	34.75	54.25	52.5	37.63
	Limons fins %	5.25	9.25	8.25	9.5	8.06
	Limons grossiers%	42.73	28.5	20.78	20.18	28.05
	Sables fins%	27	12.25	6.15	5.95	12.84
	Sables grossiers%	16.02	15.25	10.57	11.87	13.43
Réserve utile	Réserve utile (mm) / cm	0.25728	1.42	4.032	6.4896	3.05
Matière organique	Matière organique totale (mg/g)	15	15.69	13.79	12.76	14.31
	Carbone total (mg/g)	8.7	9.1	8	7.4	8.30
	Azote total (mg/g)	0.78	0.63	0.89	0.84	0.79
	C/N	11	14	9	9	10.75
Bases échangeables méq / 100g de terre fine	Calcium (ca++)	1.1	1.63	1.42	1.49	1.41
	Magnésium (Mg++)	0.5	1.28	1.39	1.33	1.13
	Potassium (K+)	0.37	0.54	0.42	0.22	0.39
	Sodium (Na+)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	Somme des bases (S)	2.02	3.5	3.28	3.09	2.97
	Capacité d'échange(T)	3.98	6.77	6.17	5.59	5.63
	Taux de saturation(S/T)%	51	52	53	55	52.75
Réaction du sol	pH eau	5.29	5.3	5.01	5.09	5.17
	pH Kcl	4.58	4.53	4.18	4.33	4.41

ANNEXE 4: Description pédologique de la fosse N° G8 (Transect Nord dans le Zaï 14 ans)

Date de description (auteurs) : 24/01/2007 (E. HIEN, S. F. DOAMBA et I. J.-P.ZAN)

1°/ CLASSIFICATION DU SOL

- CPCS (1967) : sol ferrugineux tropical lessivé moyennement profond
- BRM (1998) : plinthosol ferrique

2°/ ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : Gourga, département de Oula (Yatenga).
Lat. : 13°32,580' N
Long. : 002°22,950' W
- Végétation et/ou utilisation : Savane arbustive sous zaï forestier à *Piliostigma reticulatum*, *Balanites aegyptiaca*, *Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum*, *Sclerocarya birrea*, *Jatropha gossipifolia*, avec un tapis herbacé à *Andropogon gayanus*, *Microchloa indica*, *Tephrosia bracteolata*, *indigofera sp.*, *Brachiaria vilosa*, *Pendicaria Heudoloti*, *Schoenfeldia gracilis*.
- Position physiographique : glacis, moyenne pente
- Topographie environnante : quasi-plat
- Microtopographie : néant
- Pente : 1%
- Matériel parental : colluvions issus de granitoïdes
- Drainage : normal
- Etat hydrique : solum sec
- Nappe : non atteinte
- Eléments grossiers en surface : Epanchage de graviers et cailloux ferrugineux
- Affleurements de roches et/ou de cuirasse : -
- Erosion : en nappe
- Influence humaine : Zaï forestier, pâturage

3°/ DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU SOLUM

0 – 15 cm : rouge jaunâtre (5YR5/6) à l'état sec et brun rougeâtre foncé (5YR3/4) à l'état humide ; limon sableux ; 30% de graviers ferrugineux ; structure polyédrique subanguleuse faiblement développée, moyenne et fine; consistance peu dure ; nombreux pores très fins, fins et moyens; nombreuses racines très fines, fines, et moyennes; activité biologique bien développée ; limite distincte.

15 - 37 cm : rouge (2,5YR4/6) à l'état sec et brun rougeâtre foncé (2,5YR3/4) à l'état humide ; argileux; 50% de graviers ferrugineux ; structure polyédrique subanguleuse faiblement développée, fine et moyenne; consistance peu dure ; nombreux pores très fins, fins et moyens; nombreuses racines très fines, fines, et moyennes; activité biologique bien développée ; limite distincte.

37 - 70 cm : rouge (2,5YR4/6) à l'état sec et brun rougeâtre foncé (2,5YR3/4) à l'état humide ; limon argileux; 50% de graviers ferrugineux ; structure polyédrique subanguleuse faiblement développée, fine et moyenne; consistance peu dure ; assez nombreux pores très fins, fins et moyens; assez nombreuses racines très fines, fines, et moyennes; activité biologique bien développée ; limite abrupte irrégulière.

> 70 cm : carapace ferrugineuse à cimentation-induration faible.

Résultats analytiques : Fosse G8 du Transect Nord dans le Zaï 14 ans

N° Fosse et profondeur		G8 0-15	G8 15-37	G8 37-70	G8 Moyenne/Fosse
Analyse granulométrique	Texture	Limoneux	argileux	Limono- argileux	
	Argile %	15.75	41	34.75	30.50
	Limons fins %	4.5	5.25	5.5	5.08
	Limons grossiers%	30.27	28.33	16.89	25.16
	Sables fins%	22.24	8.71	11.61	14.19
	Sables grossiers%	27.24	16.71	31.25	25.07
Réserve utile	Réserve utile (mm) /cm	0.4752	1.37936	3.6288	1.83
Matière organique	Matière organique totale (mg/g)	15.69	15.34	13.96	15.00
	Carbone total (mg/g)	9.1	8.9	8.1	8.70
	Azote total (mg/g)	0.89	0.68	0.78	0.78
	C/N	10	13	10	11.00
Bases échangeables méq/100g de terre fine	Calcium (ca++)	1.1	1.63	1.42	1.38
	Magnésium (Mg++)	0.64	0.88	0.93	0.82
	Potassium (K+)	0.22	0.19	0.22	0.21
	Sodium (Na+)	0.04	0.04	0.04	0.04
	Somme des bases (S)	1.95	2.38	2.34	2.22
	Capacité d'échange(T)	3.35	4.66	4.2	4.07
	Taux de saturation(S/T)%	58	51	56	55.00
Réaction du sol	pH eau	5.8	5.68	5.81	5.76
	pH Kcl	4.5	4.2	4.3	4.33

ANNEXE 5: Description pédologique de la fosse N° G11 (Transect Sud dans le Zaï 24 ans)

Date de description (auteurs) : 24/01/2007 (E. HIEN, S. F. DOAMBA et I. J.-P.ZAN)

1°/ CLASSIFICATION DU SOL

- CPCS (1967) : sol ferrugineux tropical lessivé à concrétions
- BRM (1998) : Lixisol ferrique

2°/ ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : Gourga, département de Oula (Yatenga).
Lat. : 13°32,433' N
Long. : 002°22,941' W
- Végétation et/ou utilisation : Savane arbustive sous zaï forestier à *Combretum micranthum*, *Piliostigma reticulatum*, *Cassia sieberiana*, *Lanna microcarpa*, *Guiera senegalensis*, *Acacia polyacantha*, *Gardenia ternifolia*, avec un tapis herbacé à *Triumpheta pentandra*, *Alysicarpus rigosus*, *Pennisetum pedicelatum*, *Spermacoce radiata*, *Corchorus tridens*, *Hypomea eriocarpa*.
- Position physiographique : glacis, moyenne pente
- Topographie environnante : quasi-plat
- Microtopographie : Petite cuvette
- Pente : 1%
- Matériel parental : colluvions issus de granitoïdes
- Drainage : normal
- Etat hydrique : solum sec
- Nappe : non atteinte
- Eléments grossiers en surface : -
- Affleurements de roches et/ou de cuirasse : Butte cuirassé à 100 m au nord
- Erosion : en nappe
- Influence humaine : Zaï forestier, pâturage

3°/ DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU SOLUM

0 – 13 cm : brun rougeâtre clair (5YR6/4) à l'état sec et brun rougeâtre (5YR4/4) à l'état humide ; limoneux ; 5% de graviers ferrugineux ; structure massive à sous structure polyédrique subanguleuse faiblement développée, très grossière et grossière; consistance dure ; nombreux pores très fins, fins et moyens; nombreuses racines très fines, fines, moyennes et grosses; activité biologique bien développée ; limite distincte.

13 - 46 cm : rouge (2,5YR5/6) à l'état sec et rouge foncé (2,5YR3/6) à l'état humide ; argileux ; 10% de graviers ferrugineux (concrétions) ; structure massive à sous structure polyédrique subanguleuse faiblement développée, très grossière et grossière; consistance dure ; nombreux pores très fins, fins, moyens et larges; nombreuses racines très fines, fines, moyennes et grosses; activité biologique bien développée ; limite distincte irrégulière.

46-120cm : Horizon très graveleux avec plus de 80% de graviers ferrugineux (concrétions). Argileux ; Présence d'un début d'induration à la base du troisième horizon.

Résultats analytiques : Fosse G11 du Transect Sud dans le Zaï 24 ans

N° Fosse et Profondeur		G11 0-13	G11 13-46 cm	G11 46-120	G11 Moyenne/Fosse
Analyse granulométrique	Texture	Limono- sableux	Limono- argileux	Argileux	
	Argile %	15	48	41.75	34.92
	Limons fins %	7.5	6	5.5	6.33
	Limons grossiers%	41.58	20.52	18.07	26.72
	Sables fins%	21.23	13.88	10.73	15.28
	Sables grossiers%	14.69	11.6	23.95	16.75
Réserve utile	Réserve utile (mm) /cm	0.64688	2.36256	4.7808	2.60
Matière organique	Matière organique totale (mg/g)	20	12.41	10	14.14
	Carbone total (mg/g)	11.6	7.2	5.8	8.20
	Azote total (mg/g)	0.89	0.68	0.78	0.78
	C/N	10	13	10	11.00
Bases échangeables méq/100g de terre fine	Calcium (ca ⁺⁺)	1.1	1.63	1.42	1.38
	Magnésium (Mg ⁺⁺)	0.64	0.88	0.93	0.82
	Potassium (K ⁺)	0.22	0.19	0.22	0.21
	Sodium (Na ⁺)	0.04	0.04	0.04	0.04
	Somme des bases (S)	1.95	2.38	2.34	2.22
	Capacité d'échange(T)	3.35	4.66	4.2	4.07
	Taux de saturation(S/T)%	58	51	56	55.00
Réaction du sol	pH eau	5.8	5.68	5.81	5.76
	pH Kcl	4.5	4.2	4.3	4.33

ANNEXE 6: Description pédologique de la fosse N° G18 (du Transect Ouest dans le Zaï 30 ans)

Date de description (auteurs) : 24/01/2007 (E. HIEN, S. F. DOAMBA et I. J.-P.ZAN)

1°/ CLASSIFICATION DU SOL

- CPCS (1967) : sol ferrugineux tropical lessivé peu profond
 -BRM (1998) : plinthosol ferrique

2°/ ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : Gourga, département de Oula (Yatenga).
 Lat. : 13°32,474' N
 Long. : 002°23,004' W

Végétation et/ou utilisation : Savane arbustive sous zaï forestier à *Guiera senegalensis*, *Piliostigma reticulatum*, *Acacia macrostachya*, avec un tapis herbacé à *Heteropogon sp.*, *Haristida adscensionis*, *Mitracarpus vilosus*, *Andropogon pseudaprius*, *Celosia argentea*, *Borerea filifolia*, *Bilbostylis hispidula*.

- Position physiographique : glacis, haut de pente
 - Topographie environnante : Légèrement ondulée
 - Microtopographie : -
 - Pente : 2-3% N- S
 - Matériel parental : colluvions issus de granitoïdes
 - Drainage : normal
 - Etat hydrique : solum sec
 - Nappe : non atteinte
 - Eléments grossiers en surface : nombreux graviers et cailloux ferrugineux
 - Affleurements de roches et/ou de cuirasse : cuirasse
 - Erosion : en nappe forte
 - Influence humaine : Zaï forestier, pâturage

3°/ DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU SOLUM

0 – 15 cm : brun rougeâtre (5YR5/4) à l'état sec et brun rougeâtre (5YR4/4) à l'état humide ; limoneux ; 70% de graviers ferrugineux ; structure polyédrique subanguleuse faiblement développée, fine et très fine; consistance tendre; nombreux pores très fins, fins et moyens; nombreuses racines très fines et fines; activité biologique bien développée ; limite distincte.

15 – 37 cm : rouge jaunâtre (5YR5/6) à l'état sec et brun rougeâtre (2,5YR4/6) à l'état humide ; limon argileux ; 60% de graviers et cailloux ferrugineux ; structure polyédrique subanguleuse faiblement développée, fine et très fine; consistance tendre; nombreux pores très fins, fins et moyens; nombreuses racines très fines et fines; activité biologique bien développée ; limite abrupte irrégulière.

> 37 : carapace ferrugineuse à cimentation induration moyenne.

Notes additionnelles : épandage de nombreux graviers et cailloux ferrugineux en surface.

Résultats analytiques : Fosse G18 du Transect Ouest dans le Zaï 30 ans

N° Fosse et profondeur		G18 0-10	G18 10-20 cm	G18 20-30	G18 Moyenne/Fosse
Analyse granulométrique	Texture	Limoneux	Limono argileux	Limono argileux	
	Argile %	19.75	30.25	35.25	28.42
	Limons fins %	7.25	8.25	7.75	7.75
	Limons grossiers%	32.96	23.01	25.24	27.07
	Sables fins%	10.53	9.69	8.01	9.41
	Sables grossiers%	29.51	28.8	23.75	27.35
Réserve utile	Réserve utile (mm) /cm	0.5104	0.9248	1.4064	0.95
Matière organique	Matière organique totale (mg/g)	16,38	16,72	16,72	16,6
	Carbone total (mg/g)	0.95	0.97	0.97	0.96
	Azote total (mg/g)	0.089	0.07	0.089	0.08
	C/N	11	14	11	12.00
Bases échangeables méq/100g de terre fine	Calcium (ca ⁺⁺)	0.83	0.79	0.88	0.83
	Magnésium (Mg ⁺⁺)	0.79	0.58	0.71	0.69
	Potassium (K ⁺)	0.2	0.14	0.15	0.16
	Sodium (Na ⁺)	0.04	0.04	0.04	0.04
	Somme des bases (S)	1.86	1.55	1.78	1.73
	Capacité d'échange(T)	3.62	2.98	3.56	3.39
	Taux de saturation(S/T)%	51	52	50	51.00
Réaction du sol	pH eau	5.44	5.66	5.59	5.56
	pH Kcl	4.13	4.02	4.01	4.05