

BURKINA FASO
Unité-Progrès-Justice

MINISTÈRE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
(MESSRS)



Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso
(U.P.B)
Institut de Développement Rural
(I.D.R)

Institut de Recherche
pour le Développement
(I.R.D)

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté en vue de l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

Option : Eaux et forêts

Thème :

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) »

Directeur de mémoire

M. Antoine N. SOME
M. Mipro HIEN

Maître de stage

M. Michel LEPAGE

Présenté et soutenu par

Thomas d'Aquin LAGUEMVARE

Juin 2003

A la mémoire de papa et de mon frère gabriel ;

A maman ;

A mes frères et à mes sœurs ainsi qu'à Alice, pour les multiples efforts consentis à mon égard ;

A tous les parents et à tous mes amis ;

A tous ceux qui ont contribué à mon éducation et à ma formation ;

A toutes les personnes de bonne volonté ;

C'est avec humilité que je vous dédie ce travail, fruit de vos efforts et de votre engagement à mes côtés.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	<i>i</i>
Liste des Figures	<i>iii</i>
Liste des Tableaux	<i>iii</i>
RESUME	<i>iv</i>
INTRODUCTION	<i>1</i>
Chapitre I - SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	<i>4</i>
Réhabilitation des terres et restauration de leur fertilité	<i>4</i>
1.1. Principe	<i>4</i>
1.2. Les ouvrages anti-érosifs	<i>5</i>
1.2.1. Cordons pierreux	<i>5</i>
1.2.2. Diguettes anti-érosives	<i>5</i>
1.2.3. Demi-lunes	<i>5</i>
1.3. Les techniques culturales	<i>5</i>
1.3.1. Mise en défens.....	<i>5</i>
1.3.2. Paillage ou mulching.....	<i>5</i>
1.3.3. Zaï.....	<i>6</i>
1.4. Effets écologiques des aménagements	<i>6</i>
1.4.1. Développement de la végétation	<i>6</i>
1.4.2. Mise en défens et fertilité des sols	<i>7</i>
1.4.3. Diguettes, cordons pierreux et dynamique des états de surface.....	<i>7</i>
1.4.4. Paillage et restauration de la végétation.....	<i>7</i>
1.4.5. Zaï et revégétalisation	<i>8</i>
1.5. Adoption des techniques de réhabilitation et de restauration : cas du zaï et des cordons pierreux	<i>8</i>
1.6. Action des termites dans la reconstitution de la diversité biologique	<i>9</i>
1.6.1. Classification des termites.....	<i>9</i>
1.6.2. Rôles des termites.....	<i>10</i>
1.6.3. Impact des termites sur le sol	<i>10</i>
1.6.4. Impact des termites sur le recyclage des nutriments	<i>11</i>
1.7. Etude de la succession végétale	<i>11</i>
1.7.1. Définitions.....	<i>11</i>
1.7.2. Les différents types de successions végétales.....	<i>12</i>
1.7.3. Le cas du zaï forestier.....	<i>13</i>
1.8. Le système zaï, agricole et forestier	<i>13</i>
1.8.1. Historique.....	<i>13</i>
1.8.2. Avantages et inconvénients.....	<i>14</i>
1.8.3. Le zaï agricole	<i>15</i>
1.8.4. Le zaï forestier.....	<i>16</i>

Chapitre II - PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	17
1. Le cadre géographique	17
2. Le climat	17
3. Les sols	18
4. La végétation	18
5. Les données socio-économiques	18
6. Le site d'étude	19
Chapitre III - MATERIELS ET METHODES	23
1. Matériels	23
1.1. Mise en place des parcelles	23
1.2. Le matériel étudié	24
2. Méthodes	25
2.1. Relevé et mesures des espèces ligneuses	25
2.2. Relevé des plantules	25
2.3. Relevé des espèces herbacées et mesure de la biomasse	26
2.3.1. Analyse de la végétation herbacée	26
2.3.2. Description de la méthode.....	26
2.3.3. Mesure de la biomasse	27
2.4. Relevé des termites	27
2.5. Echantillonnage du sol	29
3. Traitement des données	29
Chapitre IV - RESULTATS	31
1. Analyse des sols	31
2. Suivi de la diversité végétale	32
2.1. Composition spécifique des peuplements	32
2.1.1. L'approche globale de la composition des peuplements.....	32
2.1.2. L'approche synchronique de la composition des parcelles.....	36
2.2. Analyse de la biodiversité	37
2.2.1 Indice de Shannon et équitabilité	37
2.2.2. L'évolution de la richesse spécifique	38
3. Structure du peuplement ligneux	39
3.1. Répartition des effectifs des espèces ligneuses	39
3.2. Circonférences et hauteurs des individus	41
3.3. Distribution verticale des individus selon les zaï	41
3.4. Distribution horizontale	43
3.5. Surfaces terrières et densités	45
3.5.1. Evolution des surfaces terrières.....	45
3.5.2. Répartition spatiale des densités ligneuses par 25 m ²	45

3.6. Régénération et mortalité des plantules	47
3.6.1. Appréciation générale de la régénération de la strate 1	47
3.6.2. Mortalité des plantules	47
4. La strate herbacée	48
4.1. Structure de la végétation herbacée	48
4.1.1. Fréquences spécifiques.....	48
4.1.2. Répartition des espèces herbacées : annuelles et pérennes	50
4.2. La biomasse herbacée	50
4.2.1. Biomasse herbacée et taux de recouvrement.....	50
4.2.2. La biomasse herbacée et le type d'espèce.....	51
4.3. Evolution de la fréquence de certaines espèces herbacées	51
5. Interactions entre les composantes biologiques du zaï forestier	52
5.1. Diversité et structure des peuplements de termites	52
5.1.1. Distribution des termitières	52
5.1.2. Evolution des nids de termitières	53
5.1.3. Surfaces et volumes des nids.....	53
5.2. Analyse en Composantes Principales	54
5.2.1. Variables mesurées.....	54
5.2.2. Corrélations entre les variables	55
5.2.3. Représentation des variables selon les axes principaux	56
5.2.4. Projection des individus (sous-parcelles) selon les axes principaux.....	57
5.2.5. Corrélation des variables liées à l'activité des termites	59
Chapitre V - DISCUSSION	60
1. La diversité végétale et la dynamique successionnelle	60
1.1. Diversité floristique des parcelles	60
1.2. Evolution de la diversité	60
1.3. Herbacées pérennes et annuelles.....	61
1.4. Evolution de la strate herbacée	62
1.5. Evolution de la strate ligneuse.....	62
2. Emboîtement des diversités spécifiques	64
2.1. Physionomie et composition floristiques	64
2.2. Diversité et action des termites.....	65
3. Approche fonctionnelle du système zaï forestier	65
3.1. Dynamique du couvert végétal.....	65
3.2. Schéma conceptuel de la récupération des sols dégradés	67
Conclusion et perspectives	68
BIBLIOGRAPHIE	71
ANNEXES	80

REMERCIEMENTS

Les recherches qui ont fait l'objet de ce mémoire ont été réalisées d'août 2002 à mai 2003 dans le cadre du programme LCD (Lutte contre la désertification).

A l'issue de ce travail, il m'est particulièrement agréable de rendre hommage et de remercier tous ceux qui ont contribué à la réalisation de cette étude.

Je tiens à présenter mes vifs remerciements à toute l'équipe du programme IBIS de l'IRD Ouaga, Monsieur Robin DUPONNOIS, Monsieur Michel LEPAGE, Monsieur Dominique MASSE.

Je prie mon maître de stage Monsieur Michel LEPAGE, Directeur de Recherche au CNRS, d'accepter l'expression de ma profonde gratitude. Il m'a initié à l'écologie et a apporté par ses hypothèses de la « lumière » à ce qui me paraissait au départ assez complexe et diffus. Au moment de la réalisation, ses critiques et ses pertinents conseils m'ont été d'autant plus précieux qu'ils s'appuient sur sa vaste expérience. Je réitère mes remerciements à son égard pour l'appui sans faille et les nombreux gestes de sympathie à mon endroit.

A Monsieur Dominique MASSE, chercheur à l'IRD Ouaga, pour m'avoir consacré son temps, à chaque fois que j'avais besoin de lui, pour l'analyse de mes résultats et la réalisation de ce document.

J'exprime ma reconnaissance à Monsieur Antoine N. SOME, mon Directeur de mémoire. J'ai été fasciné par son sens d'organisation et ses suggestions qui m'ont été d'un grand apport scientifique.

A Monsieur Mipro HIEN, mon Codirecteur de mémoire, je voudrai dire merci pour toute l'attention et l'intérêt qu'il a accordé à mon travail. Nos multiples rencontres et discussions m'ont été d'un grand intérêt.

Mes remerciements à Messieurs Saibou NIGNAN, botaniste à l'IRD Bobo, Passari OULLA cartographe à l'IRD Ouaga, et Bismarck H. NACRO enseignant-chercheur à IDR, pour avoir toujours répondu favorablement à mes multiples sollicitations.

Au personnel du laboratoire du programme IBIS de l'IRD, en particulier Messieurs KABORE Issouf, SY Sekou, BARRY Moussa, ALICOT Mamadou, YEDAN Yaya, pour leur franche et louable collaboration.

Au personnel de l'IDR et au corps enseignant, j'exprime toute ma grande reconnaissance pour le travail qu'ils assurent.

A M. Idrissa ZAN, technicien à l'IRD Ouaga, je lui dis merci pour son sens du travail bien fait, ses connaissances botaniques et surtout pour sa disponibilité permanente.

Je tiens à remercier Monsieur Yacouba SAWADOGO pour m'avoir permis de travailler sur ses parcelles de zaï ainsi que pour sa disponibilité. Je remercie aussi toute sa famille pour l'accueil fraternel et sa grande motivation pour le travail.

A mes oncles, Monsieur ZONGO et épouse, Monsieur DIPAMA et épouse, j'exprime ma gratitude pour les multiples formes de soutiens durant ces années passées ensemble.

J'adresse à tous à mes parents (Abbé Paul, Père Joseph, Monsieur et Madame OUEDRAOGO Boubacar, Monsieur et Madame YAMEOGO Etienne, Monsieur et Madame KAFANDO Ambroise) et à tous mes amis (George, Macaire, Bosco, Olivier, Rodrigue, Edmond, Franck, Etienne et surtout Sylvain), ma reconnaissance et mes remerciements.

A mes camarades de promotion, Maxime, Brice, Youssouf, Alassane, Daouda, Marcel, Aristide, Grégoire, Manaka, Protet, Thierry etc.) et à mes collègues stagiaires de l'IRD (Frédéric, Naina, Aline, Aurélie), je leur dit merci pour leur sympathie.

A tous je dis, « l'homme peut tout ou presque tout oublier, mais Dieu n'oublie jamais », que le Christ récompense et fortifie la foi de tous ceux qui dans le silence n'ont cessé de prier pour moi. Merci et encore merci à tous.

Liste des figures

<i>Figure 1 : Pluviométrie moyenne annuelle à la station de Ouahigouya, de 1973 à 2002</i>	17
<i>Figure 2 : Localisation de la zone d'étude</i>	21
<i>Figure 3 : Site du zaï forestier de Gourga l'itinéraire du paysan</i>	22
<i>Figure 4 : Dispositif expérimental de base pour le relevé de la végétation</i>	24
<i>Figure 5: Parcelles retenues en alternance damier pour la récolte de la biomasse</i>	28
<i>Figure 6 : Technique de relevé des points quadrants et de la récolte de la biomasse</i>	28
<i>Figure 7 : Etude diachronique de la strate ligneuse par AFC plan F1 / F2</i>	33
<i>Figure 8 : Etude diachronique de la strate ligneuse par AFC plan F1/ F3</i>	34
<i>Figure 9: Etude diachronique de la strate herbacée par AFC</i>	35
<i>Figure10a : Evolution de la diversité spécifique moyenne par 100m² (strate ligneuse)</i>	38
<i>Figure10 b : Evolution de la diversité spécifique moyenne par 100 m² (strate herbacée)</i>	39
<i>Figure 11 : Répartition des effectifs des espèces ligneuses dans les différents zaï forestiers (voir la liste des abréviations utilisées sur l'Annexe 1)</i>	40
<i>Figure 12 : Répartition des individus ligneux en classes de hauteurs selon leurs fréquences</i> ..	42
<i>Figure 13 : Structure démographique du peuplement ligneux des différentes unités de zaï forestier</i>	44
<i>Figure 14 : Répartition spatiale des densités des ligneux par sous-parcelles et quadrats de 25 m² dans les parcelles de zaï</i>	46
<i>Figure 15: Evolution des principales espèces herbacées</i>	51
<i>Figure 16: Evolution des nids épigés de termitières en fonction de l'âge</i>	53
<i>Figure 17a : Position des descripteurs par rapport aux composantes principales F1 et F2</i> ..	56
<i>Figure 17b : Position des descripteurs par rapport aux composantes principales F1 et F3</i> ..	57
<i>Figure 18 : Projection des individus et des variables selon le plan F1, F2</i>	58
<i>Figure 19: Mécanisme de réhabilitation des terres dégradées et dénudées</i>	67

Liste des Tableaux

<i>Tableau I : Analyse gravillonnaire des sols au tamis de 2 mm</i>	31
<i>Tableau II : Caractéristiques floristiques de la strate ligneuse</i>	36
<i>Tableau III : Caractéristiques floristiques de la strate herbacée</i>	37
<i>Tableau IVa : Valeurs des indices de diversité et de richesse spécifique des ligneux par 100 m²</i>	37
<i>Tableau IVb : Valeurs des indices de diversité et de richesse spécifique des herbacées par 100 m²</i>	37
<i>Tableau V : Hauteurs et circonférences moyennes des individus ligneux dans les zaï étudiés</i> ..	41
<i>Tableau VI : Evolution de la densité et de la surface terrière par hectare des parcelles de zaï forestier</i>	45
<i>Tableau VII : Régénération des peuplements ligneux dans les parcelles de zaï forestier</i>	47
<i>Tableau VIII : Mortalité des plantules dans les parcelles de zaï forestier</i>	48
<i>Tableau IX : Fréquences spécifiques (Fsi) et contributions spécifiques (Csi) des espèces herbacées</i>	49
<i>Tableau X : Evolution des espèces annuelles et pérennes en fonction de l'âge du zaï</i>	50
<i>Tableau XI : Biomasse herbacée par hectare et taux de recouvrement moyen par 100 m²</i>	50
<i>Tableau XII : Biomasse moyenne (g de matière sèche) de quelques espèces herbacées par 100 m², selon le type, annuel ou pérenne</i>	51
<i>Tableau XIII : Densité des termitières dans les différentes parcelles de zaï forestier de 2500 m²</i>	52
<i>Tableau XIV : Surfaces et volumes moyens / hectare des termitières de Trinervitermes en zaï forestier</i>	53
<i>Tableau XV : coefficients de corrélation entre les variables utilisées</i>	55

RESUME

Les terres dégradées et dénudées peuvent, le plus souvent, être régénérées et réhabilitées par un certain nombre de techniques simples, locales et bien connues des populations rurales.

L'expérience étudiée porte sur un zaï forestier dans le village de Gourga, province du Yatenga.

Les objectifs de l'étude étaient de caractériser l'évolution du milieu végétal du zaï forestier, mis en parallèle avec l'évolution de l'action des termites.

A défaut de pouvoir suivre les changements de la végétation des jachères de zaï pendant un temps suffisamment long, l'étude a été réalisée par une approche synchrone consistant à choisir actuellement des parcelles de jachères de zaï d'âges différents, âges déterminés par enquête auprès des propriétaires.

La reconstitution de l'évolution du peuplement végétal issu du système zaï a été caractérisée par les paramètres tels que :

- la diversité qui regroupe la richesse floristique, l'abondance et la répartition des individus ;
- la production ligneuse et herbacée, qui reflète le dynamisme de la végétation et sa vitesse de reconstitution.

Tandis que l'activité des termites est manifestée par la présence de termitières, de placages sur le sol ou par des galeries.

Le caractère annuel des herbacées masque leur succession, tandis que l'évolution de la strate ligneuse, beaucoup plus lente, laisse apparaître la progression de sa densité, sa production ligneuse et surtout sa croissance verticale.

Dans cette réhabilitation du milieu, le critère « âge » des parcelles n'est pas le seul critère et les variables importantes dans cette évolution sont le recouvrement herbacé et la diversité des espèces ligneuses.

Mots clés :

Burkina Faso –Yatenga –écosystème zaï – zaï forestier –végétation herbacée –végétation
ligneuse – diversité - termites

ABSTRACT

Degraded and bare soils could generally be regenerated and rehabilitated through simple, locally and well-known techniques by the rural populations.

We studied a forested zaï in the village of Gourga, situated in the province of Yatenga.

The aims of the study were to characterize the evolution of the vegetation in this ecosystem, in parallel with the activity of the termite populations.

Since it was not possible to follow vegetation changes in the zaï fallow during a sufficiently long period, the work was carried out through a synchronous approach of different fallows of various ages, as determined after queries with the owner.

The evolution of the vegetation in the zaï system was characterized by parameters such as:

- the diversity which represents the floristic richness, the abundance and the distribution of the individuals;
- the woody distribution and herbaceous production, which reflects the vegetation structure and dynamics.

Termite activity is expressed by the mound density, the abundance of soil sheetings and galleries.

The annual character of the herbaceous stratum masks its succession, while the evolution of the woody layer is much slower, that allow us to clearly describe the progression of tree diversity and density, as well as horizontal and vertical growth.

During this ecosystem rehabilitation, the age of the fallow is not the only criteria and important parameters in this evolution are the herbaceous percentage of cover and the diversity of the woody compartment.

Key words

Burkina Faso – Yatenga - zaï ecosystem– forested zaï – herbaceous vegetation – tree population - diversity - termites

INTRODUCTION

La sécheresse est l'un des facteurs principaux limitant la production agricole et forestière dans les zones arides et semi-arides d'Afrique de l'Ouest (Van Keulen et Breman, 1990). Dans ces zones arides et semi-arides, les sols et les terres arables souffrent de plus en plus de l'érosion et de la disparition de la végétation (Thevoz, 1997). Ainsi, on assiste à une augmentation des surfaces impropres à la culture, qui se caractérisent par une structure dégradée du sol et la présence d'une croûte d'érosion. C'est le stade ultime de la dégradation des milieux, qui empêche toute infiltration et toute croissance racinaire.

Au Burkina Faso une étude de l'INERA (2000), montre qu'environ 24 % des terres arables sont fortement dégradés et que 31% en moyenne de la pluviosité annuelle est perdue par ruissellement, ce qui constitue une menace pour la sécurité alimentaire à moyen et à long terme. L'environnement naturel de la province du Yatenga n'échappe pas à ce phénomène d'érosion des sols et de dégradation des ressources naturelles, que l'évolution actuelle du climat contribue à aggraver.

La province du YATENGA fait partie de la zone située à la lisière du Sahel Burkinabé. Avec une densité de population de l'ordre de 52,4 habitants par km² (INSD, 2000), elle connaît une forte pression sur les terres cultivables, avec comme conséquence une régression continue de la jachère et du couvert végétal, et l'apparition un peu partout d'immenses étendues de terres dégradées et incultes : les « zipellés », atteignant par endroits plus de 20 % des terroirs villageois (Dakio, 2000).

Pour le Burkina Faso en général, et le Yatenga en particulier, cette dégradation des terres met en péril les moyens de subsistance des populations rurales et contribue à les maintenir dans la pauvreté. Il convient donc d'envisager le développement des techniques de protection des sols et de réhabilitation des ressources naturelles. C'est pourquoi, dans sa déclaration de politique de développement agricole durable élaborée dans le cadre du programme d'ajustement du secteur agricole (PASA), le gouvernement burkinabé fait de l'amélioration de la gestion de la fertilité des sols un des objectifs spécifiques assignés au secteur agricole.

La réhabilitation de ces sols encroûtés nécessite la restauration de leur statut hydrique organique et minéral. Ceci passe également par la restauration de leurs capacités d'infiltration par l'établissement d'une porosité fonctionnelle et durable. Pour ce faire, la macrofaune du sol peut y contribuer. Cette macrofaune remplit au sein des écosystèmes des fonctions essentielles

pour le maintien de la qualité du sol. Ces organismes (fourmis, vers de terre, et principalement les termites en zone aride) souvent qualifiés d'« *organismes ingénieurs* », selon la définition qu'en donnent Jones *et al.* (1994), vivent dans le sol et créent de nombreuses structures : pores, galeries, et agrégats (Eschenbrenner, 1988 ; Roose *et al.*, 1990 ; Mando, 1991). Ces structures modifient les propriétés physico-chimiques des sols et améliorent, dans certains cas, leurs propriétés hydriques (infiltration et rétention de l'eau notamment). Les termites par leurs nombres (surtout représentés en milieu tropical aride et semi-aride) et leurs régimes alimentaires, influencent considérablement le recyclage de la matière organique (Matsumoto, 1978 ; Bachelier, 1978) et la constitution de l'humus (Mishra et Sen Sarma, 1980 ; Garnier-Sillam *et al.*, 1985, 1986).

Des techniques paysannes traditionnelles sont actuellement utilisées. Leur objectif est de stimuler l'activité de la pédofaune : c'est le cas de la technique du « zaï », utilisée avec succès au Sahel (Roose *et al.*, 1990). La pédofaune constituée majoritairement de termites, attirée par le fumier de bovins ou la litière, colonise la croûte d'érosion. Elle restaure la porosité ainsi que les capacités d'infiltration et la structure du sol, par la construction de pores fonctionnels en connexion avec des tunnels souterrains dans les poquets de zaï (Roose, 1992 ; Mando, 1991).

Le système zaï consiste à maîtriser le ruissellement en creusant des cuvettes et en rejetant la terre en aval des poquets. Cet ensemble piège les feuilles mortes, les résidus de récoltes, les graines des ligneux. Celles-ci s'ajoutent aux graines apportées par la poudrette de matière organique. En quelques années, des sols dégradés et dénudés sont ainsi réhabilités (Roose et Rodriguez, 1990 ; Roose, 1992). Lorsque le champ est laissé en jachère par le paysan, on obtient ce qu'on appelle le « zaï forestier ».

Le zaï forestier reste encore peu étudié, par comparaison au zaï agricole. Il existe très peu d'études sur la reconstitution de l'évolution du milieu et en particulier l'analyse des successions végétales qui participent à son établissement au cours du temps. Pourtant, le zaï forestier pourrait sans doute jouer un rôle accru dans une meilleure gestion des terroirs villageois et dans la reconstitution des propriétés organo-minérales des sols.

Dans cette perspective, une étude de la succession végétale dans le zaï forestier, parallèlement à l'évolution de la diversité biologique et l'action des termites pourrait apporter un éclairage intéressant aux problèmes de dégradation et de réhabilitation des écosystèmes. C'est cette ambition qui a motivé la présente étude : *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).*

Ce travail se veut une contribution à la lutte contre la désertification et se donne pour objectif d'évaluer l'effet de certaines techniques, comme le zaï, dans la récupération des sols dénudés et la reconstitution de la diversité biologique des milieux dégradés.

Il s'agit de caractériser l'évolution du milieu végétal du zaï forestier, à partir d'un sol nu de départ, et de mettre en parallèle cette évolution du milieu avec les relations entre les composantes biologiques, notamment l'impact des termites, considérés à la fois comme indicateurs de l'évolution du milieu et comme agents de cette évolution (transfert d'argiles, de matière organique, amélioration de la porosité des sols).

Plus précisément, notre travail visait à :

- Etudier l'évolution diachronique de la structure de la végétation par une analyse ; synchronique de zaï forestiers d'âges différents ;
- Evaluer le niveau de fertilité des sols de ces zaï ;
- Evaluer l'action des termites sur les propriétés physiques et biologiques de ces zaï forestiers.

Toutefois, face à l'ampleur des phénomènes à étudier, et afin de caractériser dans toute leur complexité la structure et la dynamique de la végétation dans ce système zaï, nous n'avons pas pu aborder l'impact des termites dans l'évolution du système, limitant leur étude à leur rôle d'indicateurs des transformations du milieu.

D'autre part, bien que les prélèvements de sol aient été effectués, leur analyse n'a pas été faite dans le temps imparti pour la réalisation de ce mémoire.

Chapitre I - Synthèse bibliographique

Réhabilitation des terres et restauration de leur fertilité

La dynamique développée à l'heure actuelle dans le Sahel, dans le cadre d'une meilleure gestion des ressources naturelles, en accord avec un meilleur développement, se caractérise par une approche de type « gestion des terroirs villageois » et par des études communautaires, participatives et interdisciplinaires. Cette approche se distingue des pratiques antérieures, en ce qu'elle prend en compte toutes les composantes du terroir et les connaissances endogènes, pour mieux cerner tous les problèmes qui se posent. La participation des populations devient plus active, et non plus seulement instrumentale, dans la perspective d'une autogestion de la communauté rurale sur le long terme.

1.1. Principe

La réhabilitation des terres agricoles est l'ensemble des processus qui conduisent à l'arrêt de la dégradation, d'une part, et à la récupération des fonctions du sol qui avaient été détruites ou amoindries par le processus de dégradation, d'autre part (Mando *et al*, 2000).

Dans le cadre de la récupération des terres dégradées, dénudées et encroûtées au Sahel, un accent particulier est mis sur la construction d'ouvrages anti-érosifs et sur des techniques culturales actuellement recommandées pour la restauration de leur fertilité. Ce sont entre autres:

- les cordons pierreux ;
- les demi-lunes ;
- les diguettes ;
- les digues filtrantes ;
- le paillage ;
- le zaï ;
- la mise en défens...

1.2. Les ouvrages anti-érosifs

1.2.1. Cordons pierreux

Les cordons pierreux, ou diguettes en pierres ou pierres alignées, sont des ouvrages anti-érosifs constitués par un arrangement judicieux de pierres selon les courbes de niveau. Les pierres utilisées sont généralement des blocs de cuirasse ferrugineuse de formes et de dimensions variables.

1.2.2. Diguette anti-érosives

Il s'agit de barrières physiques de conservation des eaux et des sols, telles que les diguettes en terre, les digues filtrantes. Ce sont des ouvrages qui constituent des obstacles au ruissellement. Ces techniques assurent la collecte et la redistribution de l'eau dans le sol.

1.2.3. Demi-lunes

Une demi-lune est une excavation peu profonde (25 cm au maximum) en forme de demi-lune, avec un rayon de 1 à 25 m. En aval de la partie ronde, une diguette est mise en place. L'écartement en quinconce varie entre 5 et 8 m selon le tracé des courbes de niveau et de 2,5 à 4 m suivant la pente (Vlaar, 1992).

1.3. Les techniques culturales

1.3.1. Mise en défens

Le but de la mise en défens est de réhabiliter les sols par l'interdiction temporaire faite aux communautés riveraines de jouir des fonctions de production de ces sols. Elle est fondée sur le principe selon lequel la cause de la dégradation d'un sol étant supprimée, le sol est en mesure de recouvrer ses qualités après un certain temps (Mando *et al*, 2000). Une mise en défens est donc une jachère qui est protégée contre les autres formes de pressions liées aux activités humaines (pâturage, feu, coupe de bois).

1.3.2. Paillage ou mulching

La technique de paillage est très ancienne et très répandue dans la région sub-sahélienne. Elle consiste à couvrir le sol d'une couche de matière organique de quantité et de qualité variées. La

paille favorise l'activité de la macrofaune et celle-ci contribue à améliorer la structure du sol, à réduire l'évaporation et à augmenter l'infiltration (Ambouta *et al.*, 1999). Elle contribue également à accroître la minéralisation de la matière organique du sol quand le rapport carbone/azote du paillis est bas, et à immobiliser les éléments minéraux quand ce rapport est élevé.

1.3.3. Zaï

Le zaï est une technique ancestrale bien connue des paysans et utilisée pour la restauration de la productivité des terres agricoles. Cette technique a donné des résultats positifs et son efficacité est hautement appréciée (Kaboré, 1995).

1.4. Effets écologiques des aménagements

1.4.1. Développement de la végétation

Les études de Sangaré (2002) ont permis de recenser le développement de nombreuses espèces végétales, aussi bien herbacées que ligneuses, sur les sites aménagés étudiés (Gourga, Dana, Sim, Ingaré, Somiaga). Cette reprise de la végétation serait due à l'amélioration des conditions du milieu, occasionnée par les aménagements qui brisent la croûte imperméable afin d'ameublir le lit des semences et augmenter la disponibilité en eau du sol. C'est ce facteur qui serait essentiellement responsable de la recolonisation des milieux par la végétation.

De nombreux auteurs considèrent effectivement que la nature, l'état physique et le régime hydrique du sol conditionnent l'installation de la végétation sur les terres dégradées (Penning de Vries & Djiteye, 1982 ; Pieri, 1989 ; Hien, 1995 ; Achard *et al.*, 2001).

Pour Hien (1995), l'apparition et l'évolution spatiale du couvert végétal dans un site dépendent des mesures physiques et biologiques prises en vue d'y améliorer la structure et accroître l'infiltration. Ainsi les recherches de Koné (2001) sur le recru végétal insistent sur le fait que tous les aménagements visent principalement à favoriser l'infiltration. L'eau restant le premier facteur limitant le développement de la végétation. L'efficacité des techniques employées reste liée à la rugosité du sol, à l'humidité des couches superficielles et à l'intensité des pluies.

La protection intégrale d'une zone dégradée entraîne une régénération du couvert végétal avec amélioration de la production primaire et modification de la structure de la végétation (Diatta et Faye, 1997). Kessler *et al.* (1997) montrent qu'une mise en défens installée dans une zone

méridionale au Sahel pendant 5 ans, avec une pluviométrie moyenne de moins de 600 mm, donne des résultats remarquables en matière de régénération végétale. Durant la période considérée, la couverture herbacée et le recouvrement ligneux ont augmenté respectivement de 229% et de 92%, cependant que l'étendue des zones nues diminuait de 43% dans la même zone.

1.4.2 Mise en défens et fertilité des sols

La réhabilitation du sol pendant la mise en défens est principalement le résultat du recyclage des éléments minéraux contenus dans les organes des végétaux ligneux (Manlay et Masse, 1998). L'efficacité d'une mise en défens sur la fertilité des sols a été testée par Manu *et al.* (1994) sur un sol sableux au Niger. Le sol a été mis en défens après cinq ans d'exploitation continue en mil. Il en est résulté une amélioration de la fertilité du sol, notamment une augmentation de plus de 65 % de la teneur en phosphore assimilable.

1.4.3. Diguettes, cordons pierreux et dynamique des états de surface

Les diguettes offrent, par l'accumulation de l'eau et des particules, de meilleures conditions pour la germination et le développement de la végétation herbacée et ligneuse. Une étude de l'effet des cordons pierreux, menée par Kambou et Zougmore (1995), montre que deux ans après l'installation d'un cordon pierreux sur un zipellé, la superficie du tapis herbacé augmente de 5%. On note une évolution des surfaces de type décantation (favorables à la germination des graines) et une régression des surfaces de type érosion.

1.4.4. Paillage et restauration de la végétation

Le paillage entraîne la réhabilitation de la végétation dès la première année d'application (Léonard et Rajot, 1998 ; Mando *et al.*, 1999). Le paillis peut permettre un développement de la végétation pouvant couvrir complètement un sol nu dans un délai de deux ans. Cette performance de la végétation sous paillis provient de la réponse à l'effet du paillage sur l'amélioration de la structure du sol nu et sur la disponibilité de l'eau et des nutriments dans le sol.

1.4.5. Zaï et revégétalisation

Kaboré (1995) note l'apparition sur un zipellé en récupération, dès la deuxième année de culture, de plus d'une vingtaine d'espèces herbacées, dont les principales sont : *Dactyloctenium aegyptium* Beauv., *Spermacoce stachydea* (DC.) H. et Dalz., *Schoenefeldia gracilis* Kunth., *Ipomoea eriocarpa* R Brown., *Pennisetum pedicellatum* Trin., *Zornia glochidiata* Reichb., *Andropogon spp.* D'autres espèces telles que *Microchloa indica* (L.) Beauv. et *Schizachyrium exile* Stapf. ont été notées sur le site de Kirsi après la première année de récupération du zipellé.

Toutes ces espèces sont issues des graines transportées, soit par le vent soit par le ruissellement, et piégées dans les cuvettes de zaï. Certaines semences proviendraient de l'amendement organique apporté dans les cuvettes ; Roose *et al*, (1992) ont compté, à Ouahigouya, 13 espèces de graines d'arbustes fourragers dans le fumier apporté.

Le zaï est une technique qui présente un important potentiel pour la restauration des sols. Son application à long terme permet de reboiser des zones nues surtout lorsqu'on utilise du fumier (Roose *et al*, 1992). Pour Koné (2001), la technique du zaï permet la régénération d'une végétation ligneuse et herbacée, si celle-ci est tolérée par l'agriculteur. Pour Kaboré (1995), le zaï constitue déjà une technique qui peut réduire les effets des aléas climatiques et par conséquent la variabilité interannuelle de la production, tout en augmentant les rendements agricoles et la reprise végétale.

1.5. Adoption des techniques de réhabilitation et de restauration : cas du zaï et des cordons pierreux

Kinane (2002) montre l'efficacité des techniques CES susceptibles d'accroître la production végétale qui ont été mises en pratique par la recherche, mais note que leur adoption par les populations n'est pas toujours évidente. D'une façon générale, Kinane souligne que la formation aux techniques culturales et la présence d'un cheptel favorisent l'adoption des techniques CES.

L'appartenance à une organisation paysanne et la présence de matériel aratoire sont déterminantes pour l'adoption des techniques. Le désir d'obtenir des résultats immédiats, conformément aux objectifs du paysan, entraîne l'utilisation du zaï principalement pour récupérer les sols sévèrement érodés. Mais cette technique demande une main-d'œuvre

importante, suivant la taille de la parcelle et elle doit être appliquée annuellement, contrairement aux cordons pierreux qui, une fois mis en place, ont une durée de vie de plus de 15 ans. Ces contraintes seraient défavorables au développement de la technique du zaï. De même, les exigences du zaï en matière d'amendement organique et en main-d'œuvre, entraînent une répartition du potentiel du paysan (amendement, main-d'œuvre, outils) sur l'ensemble des terres, réduisant du même coup les superficies exploitées.

En plus des contraintes techniques plus ou moins importantes de la pratique du zaï, Thevoz (1997), estime que l'obstacle fondamental et déterminant à son développement, reste la question foncière, car les paysans sont réticents à restaurer des terres incultes tant que les modes d'appropriation de la terre ne seront pas modifiées.

Pour le Ministère de l'agriculture (1999), la dégradation des sols souffre des faibles taux d'adoption des technologies pour une exploitation plus intensive et durable des sols. Ces taux d'adoption se répartissent comme suit :

- 15% d'adoption des techniques de lutte contre l'érosion ;
- 11% pour les pratiques agroforestières ;
- 27% pour l'utilisation de la fumure organique.

1.6. Action des termites dans la reconstitution de la diversité biologique

Les termites et les fourmis sont les deux grands groupes d'insectes sociaux du sol (Bachelier, 1963). Ils constituent une composante majeure de la macrofaune des sols tropicaux (Lee & Wood, 1971). De ce fait ils ont suscité de nombreux travaux relatifs à leur biologie (Grassé, 1984). Dans une étude réalisée à l'échelle du Burkina, 16 genres principaux de termites ont été inventoriés par Ouédraogo (1990). Il ressort des différentes études et observations que les termites ont à la fois un rôle bénéfique et néfaste sur les écosystèmes tropicaux.

1.6.1. Classification des termites

On peut, distinguer quatre groupes fonctionnels principaux de termites, en fonction de leurs modes d'alimentation (Grassé, 1984) :

- les termites xylophages, qui consomment du bois à différents stades de décomposition ;

- les termites humivores, qui creusent des galeries et se nourrissent, comme les vers de terre, à partir des particules organiques en décomposition, mélangées aux particules minérales dans le sol ;
- les termites champignonnistes, qui réalisent une exo-symbiose digestive avec un champignon Basidiomycète du genre *Termitomyces* ;
- les termites fourrageurs, dont l'alimentation est constituée de graminées.

1.6.2. Rôles des termites

Les termites sont généralement considérés comme des animaux nuisibles, par les problèmes qu'ils suscitent :

- création d'horizons stériles imperméables dans les régions à faible pluviométrie (Guinko, 1984) ;
- attaques virulentes des cultures et des plantations et baisse des rendements (Mora, 1997) ;
- consommation importante de biomasse végétale, ce qui, selon certains auteurs, aurait pour conséquence un appauvrissement en matière organique des sols (Bachelier, 1963 ; Maldague, 1964 ; Michel et Bodines, 1975 in Mando, 1991).

Mais leur importance écologique est très souvent ignorée. Ils influent sur le recyclage de la matière organique, la constitution de l'humus (Matsumoto, 1978 ; Mishra et Sen Sarma, 1980 ; Garnier-Sillam *et al*, 1985, 1986) et jouent un grand rôle dans la fertilité des sols tropicaux (Black et Okwakol, 1997).

1.6.3. Impact des termites sur le sol

L'application de matière végétale sous forme de paillis sur un sol dénudé dans les zones semi-arides favorise l'action des termites (Mando, 1997 ; Leonard et Rajot, 1998).

Sous le paillis, les termites construisent des placages qui améliorent l'agrégation du sol (Mando et Midiema, 1997). Ils creusent des galeries et des passages s'ouvrant à la surface du sol sous forme de macropores. Les dimensions de ces macropores varient de 2 mm de diamètre à plusieurs cm selon l'espèce de termite (Kooyman et Onck, 1987).

Dans leurs activités constructrices, les termites remontent en surface des particules de sol provenant des horizons profonds (Boyer, 1982). Ainsi, des études au Sénégal, au Kenya et au

Mexique ont montré qu'entre 675 à 2600 kg.ha⁻¹.an⁻¹ de sol pouvaient être remontés en surface pour l'édification des galeries et placages (Holt et Lepage, 2000).

La collecte de nourriture et la construction des nids, galeries ou placages, modifient les propriétés physico-chimiques du sol, comme la densité, la porosité mais aussi la teneur en cations, argiles et matière organique (Lopez-Hernandez et Febres, 1984 ; Black et Okwakol, 1997 ; Holt et Lepage, 2000). Ces modifications augmentent l'infiltration et permettent une meilleure rétention de l'eau dans le sol, une meilleure résistance à l'érosion hydrique. Ainsi, Roose (1992) observe que sur un zipellé en récupération par la pratique de zaï, la matière organique apportée est exploitée par les termites dans les poquets et l'on aperçoit des galeries issues de l'activité des termites.

1.6.4. Impact des termites sur le recyclage des nutriments

L'importance écologique des termites est liée à leur mode d'alimentation. Ce rôle important dans le processus de décomposition et de recyclage de la matière organique tient à la répartition des différentes espèces dans les biotopes variés (Bignell et Eggleton, 2000).

Particulièrement abondants en forêt humide, les termites consomment 6 à 7 tonnes de matière organique par an et par hectare, soit 50% de la matière végétale tombée au sol (Maldague, 1964). La présence de termites accélère la décomposition de la litière végétale et la dynamique des nutriments (Yamashita et Takeda, 1998).

Par ailleurs, l'activité des termites augmente l'activité microbienne, d'où une minéralisation plus importante de la matière organique, ce qui contribue à l'enrichissement du sol en nutriments tels que l'azote et le phosphore (Holt et Lepage, 2000).

1.7. Etude de la succession végétale

1.7.1. Définitions

L'étude des successions végétales est un sujet qui a longtemps intéressé les écologues (Cowles, 1901 ; Shelford, 1911 ; Clements, 1916). Clements (1916) analyse les communautés végétales comme des organismes complexes. Les structures, comme les distributions en strates verticales et horizontales, sont déterminées par les conditions physiques du milieu et aussi par un certain nombre de processus parmi lesquels le plus important est celui de «l'invasion et de la réaction».

Pour Clements (1916) la succession végétale n'est jamais un processus aléatoire. Les premières plantes qui envahissent un sol dénudé ne sont jamais les arbres d'une forêt, mais des herbes sauvages capables de coloniser massivement cet habitat, avec d'innombrables graines minuscules. Ensuite viendront les plantes aux racines mieux structurées, capables d'affronter les périodes arides, puis les arbustes et les ronces etc. En dernière instance l'invasion est contrôlée par des facteurs physiques (lumière, température...).

Du point de vue de Clements (1916), la succession peut être assimilée à un ensemble ordonné d'invasions dont la périodicité est contrôlée par les modifications physiques de l'habitat. Sa cause initiale doit être recherchée dans la modification physique du milieu, et sa dynamique dépend de la réaction que chaque stade de la végétation exerce sur les facteurs physiques que sont la lumière, la température etc.

Par ailleurs Cowles (1901), précise que la succession végétale est un processus gouverné par des lois à l'intérieur desquelles les facteurs climatiques ont sans doute un rôle moindre que le milieu édaphique et l'environnement biotique.

Pour Lepart et Escarre (1983, in Somé, 1996), la succession désigne le processus de colonisation d'un biotope par les êtres vivants et les changements dans le temps de la composition floristique et faunistique d'une station après qu'une perturbation ait détruit partiellement l'écosystème préexistant. Les modifications liées à la dynamique interne de l'écosystème et celles corrélatives du milieu sont prises en compte.

1.7.2. Les différents types de successions végétales

On distingue deux types de successions :

- les successions autonomes ;
- les successions indirectes.

Les successions autonomes peuvent être primaires ou secondaires, et se caractérisent par une évolution entièrement spontanée. Par contre les successions indirectes sont sous l'effet d'une cause externe naturelle ou anthropique.

Dans les successions autonomes, le type primaire représente une colonisation végétale à partir d'un substrat vierge, tandis que le type secondaire correspond à un ensemble de phénomènes de recolonisation végétale à partir d'une zone dénudée ou d'une végétation stabilisée par l'homme. Ce type secondaire permet la caractérisation de l'évolution de la flore en forêt ou en

savane ou des zones dénudées en reconstitution. Dans le mode autonome, le processus de succession tel qu'il se déroule, s'il n'est pas perturbé, est toujours progressif et continu.

Pour ces types de succession, on pourra observer :

- une progression des paramètres tels que la densité, la stratification et la biomasse végétale ;
- une modification du spectre de dissémination accompagnant le spectre floristique et biologique ;
- une réaction croissante du milieu aboutissant à la formation de microclimat interne avec enrichissement du sol en humus, une augmentation de l'activité biologique du sol, et une plus grande mobilisation du substrat contre l'érosion.

Les successions indirectes sont généralement naturelles, mais peuvent être dues à l'homme. Elles sont le plus souvent régressives et se traduisent par une dégradation du tapis végétal, conduisant à la savanisation de la forêt ou à la steppisation de la savane. Dans ce cas c'est une succession anthropogène incontrôlée. Elle est dite anthropogène contrôlée dans le cas d'une amélioration du tapis végétal.

1.7.3. Le cas du zaï forestier

La pratique du zaï engendre la revégétalisation des surfaces dénudées. L'évolution des espèces végétales, tant en nombre d'espèces qu'en nombre d'individus, favoriserait la reconstitution du milieu et permettrait ainsi l'observation des paramètres de mesure de la succession. Dans notre cas, l'évolution des processus correspondrait au mode d'une succession autonome secondaire.

1.8. Le système zaï, agricole et forestier

1.8.1. Historique

La technique du zaï, encore appelée Tassa au Niger (Vlaar, 1992) ou encore Towalen au Mali, ou cuvette d'eau, est une pratique agricole locale qui a été élaborée dans le centre de la région sahélienne au cours de la première moitié du 20^{ème} siècle. Bien que ses origines exactes soient incertaines, elle est apparue dans la province du Yatenga avant 1950 (Ouédraogo et Kaboré, 1996). Le zaï serait une pratique ancestrale qui aurait été plus ou moins abandonnée lors d'une période de bonne pluviométrie (Ouédraogo et Kaboré, 1996) et peut-être aussi sans doute à cause surtout de la pénibilité de sa mise en œuvre (Dakio, 2000). Cette technique fut réhabilitée pendant les grandes sécheresses récurrentes des années 70 (Ouédraogo et Kaboré, 1996).

Pour Roose *et al.* (1995) le zaï est conçu pour capter et valoriser jusqu'aux plus petites quantités de pluies. Cette pratique traditionnelle est aujourd'hui réutilisée par les paysans pour minimiser le caractère aléatoire de la production agricole pluviale (Fornage, 1993).

Le mot zaï est un mot Mooré, qui vient du vocable « zaïégré » qui veut dire « se lever tôt et se hâter pour préparer sa terre ». Il s'agit en effet de récupérer des terres abandonnées et dégradées, complètement dénudées, décapées et encroûtées où le ruissellement est si fort qu'il emporte les graines et les résidus organiques qui pourraient régénérer la jachère (Roose *et al.*, 1995).

1.8.2. Avantages et inconvénients

Avantages

En premier lieu, les poquets en forme de cuvette concentrent l'eau des pluies, sur les semences ou au pied des plantes. L'infiltration de l'eau dans les poquets permet ainsi aux plantes de mieux affronter les intervalles secs entre les pluies, qui peuvent atteindre jusqu'à deux à trois semaines.

Le second rôle du zaï consiste à augmenter la rugosité de la surface du champ, et à piéger ainsi les particules de terre fine, détachées par la violence des gouttes de pluies atteignant le sol et entraînées par les eaux de ruissellement. Or cette terre fine peut retenir l'humidité plus longtemps que ne le feraient les sables et les graviers, et participe à l'amélioration de la fertilité des sols en les structurant quelque peu et en retenant en partie les minéraux nécessaires à la croissance des plantes. Les débris végétaux, feuilles, brindilles, qui s'ajoutent à la fumure déposée par la main de l'homme et à la terre fine apportée par les vents secs et violents de la saison sèche, se retrouvent aussi piégés dans les poquets. Au total, on enregistre une diminution notable des phénomènes d'érosion sur les terres traitées en zaï.

L'autre atout majeur du zaï, est l'amélioration de la fertilité chimique des champs grâce à l'apport d'amendement effectué au pied des plants, soit du fumier, soit un mélange de fumier et de compost végétal.

Ces avantages résument la qualité agronomique première du zaï : recréer un micro-environnement de croissance favorable et relativement persistant pendant la durée de la saison des pluies. Si l'on considère que le creusement des poquets d'une année à l'autre ne s'effectue pas obligatoirement sur l'emplacement des précédents, on aboutit à une amélioration globale des potentialités du champ traité.

S'y ajoute toute une série d'avantages mineurs, mais néanmoins bien appréciés des paysans :

- la trouaison peut s'effectuer en saison sèche, qui est une période creuse pour les travaux des champs ;
- les cultures en zaï peuvent bénéficier des premières pluies, à la différence des semis traditionnels ;
- le sarclage des champs est réduit en raison de l'avance phénologique prise par les plants de sorgho ou de mil en poquets sur les adventices du champ ;
- la vigueur des tiges de mil ou de sorgho permet de mieux satisfaire les besoins en combustible pour la cuisson. Cette vigueur se traduit aussi par un tallage accru des plants, profitable au bétail.

Inconvénients

Le zaï présente cependant des inconvénients. De l'avis quasi unanime des paysans rencontrés, la charge de travail consécutive à la trouaison représente le frein majeur à son adoption. Ce travail s'effectue en saison sèche, sur des sols durcis, avec une houe qui oblige à se plier en deux pour travailler. Chaque actif de la famille devra creuser plusieurs centaines, voire des milliers de poquets en quelques mois. Quelque fois, le chef de famille doit faire appel à une main d'œuvre extérieure, grâce à l'entraide paysanne ou à l'onéreuse embauche saisonnière.

La disponibilité de la fumure est également un facteur limitant les possibilités de développement du zaï dans des cultures et son extension.

Pour Roose *et al.* (1995), le zaï ne peut fonctionner de façon satisfaisante s'il ne pleut pas assez (minimum de 400mm annuels avec une capacité de stockage du sol de 50mm). D'autre part, s'il pleut trop la culture souffre d'engorgement au fond des cuvettes et les nutriments sont lixiviés.

1.8.3. Le zaï agricole

La bibliographie sur le zaï agricole est assez abondante (Vlaar, 1992 ; Fornage, 1993 ; Roose *et al.*, 1993 ; Kaboré, 1994 ; Roose *et al.*, 1995 ; Kaboré, 1995 ; Thévoz, 1997 ; Ambouta *et al.*, 1999 ; Zombré et Ilboudo, 1999 ; Dakio, 2000 ; Sangare, 2002 ; Kinane, 2002). Cette technique a fait l'objet de plusieurs expérimentations et études. Elle se présente aujourd'hui comme une solution permettant d'obtenir une productivité agricole sur des terres dénudées et dégradées. Elle démontre que la production agricole sur les zipellés est techniquement réalisable. Par ailleurs l'envahissement de la couverture végétale dès la première année d'exploitation est bien

réel et après deux à trois années de mise en pratique, le zaï peut être considéré comme une technique favorisant le démarrage de la jachère des sols dénudés.

Du point de vue technique, une augmentation de la production agricole et une réhabilitation des sols sont conciliables. A l'heure actuelle, la préoccupation majeure de la population reste toutefois l'augmentation de la production agricole.

1.8.4. Le zaï forestier

Le zaï forestier est une technologie endogène de régénération du couvert ligneux basée sur la technique de récupération agricole des terres dégradées. Cette technique favorise la multiplication des essences ligneuses à partir des semences contenues dans le fumier utilisé dans les poquets de zaï. L'espace ainsi progressivement recolonisé par la végétation naturelle est abandonné pour un nouvel aménagement continu.

La dynamique biologique (floristique et animale) des espaces aménagés, le développement de la végétation et la production primaire globale, constituent des éléments pertinents de mesure pour rendre compte de l'impact de cette technologie sur la réhabilitation des espaces dégradés.

Les caractéristiques principales du zaï forestier sont les suivantes :

- le zaï forestier commence dès la première année de récupération agricole des terres dégradées, c'est en quelque sorte un sous- produit du zaï agricole ;
- c'est une technique caractérisée par la multiplication des essences ligneuses à partir des semences contenues dans le fumier utilisé dans les poquets de zaï ou apportées par le vent ou le ruissellement ;
- dès la première année, lors du sarclage une sélection des espèces ligneuses s'impose ;
- l'abandon progressif de la parcelle de zaï permet une restauration accélérée de la jachère ;
- l'entretien des aménagements ou ouvrages anti-érosifs, le paillage ou le branchage et sa mise en défens totale sont des mesures associées importantes.

Le développement actuel du zaï forestier est étroitement lié à la bonne vulgarisation de la technique auprès des paysans et son avenir dépendra de la création de projets pouvant permettre la colonisation végétale en dehors des propriétés agricoles, à l'échelle des terroirs villageois.

Chapitre II - Présentation de la zone d'étude

1. Le cadre géographique

La province du Yatenga se situe au Nord-Ouest du Burkina-Faso et sa limite nord coïncide avec la frontière malienne. En 1996, les limites administratives et le territoire de la province ont été réduits au profit de deux nouvelles provinces : le Zandoma et le Lorum. Sa superficie est alors passée de 8476 km² à 6970 km².

2. Le climat

Le Yatenga, se situe entre 13°06 et 14°26 de latitude Nord. Son climat est de type sahélo-soudanien (Marchal, 1980) avec une pluviométrie comprise entre les isohyètes 500 et 800 mm (Koné, 2001). C'est l'une des régions les moins arrosées du Burkina-Faso. La figure 1 indique les pluviosités moyennes annuelles de ces 30 dernières années.

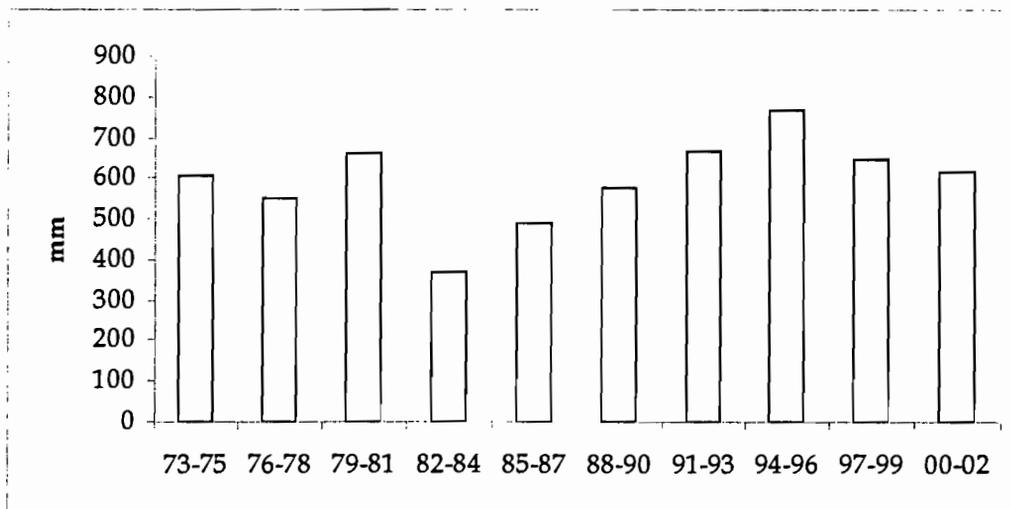


Figure 1 : Pluviométrie moyenne annuelle à la station de Ouahigouya, de 1973 à 2002

La pluviométrie au Yatenga se caractérise également par une forte irrégularité entre les années et une forte variabilité saisonnière avec des épisodes pluvieux de forte intensité aux effets souvent dévastateurs (ruissellement, lessivage, déracinement...). Ce constat a conduit Dugué et Yung (1992) à dire que l'incertitude climatique constitue une donnée structurelle au Yatenga. Tous ces facteurs climatiques sont, entre autres, à l'origine de l'accélération de l'érosion des sols.

3. Les sols

Selon Boulet (1968), les types de sols représentés dans le Yatenga sont :

- les lithosols sur cuirasse ferrugineuse ;
- les sols peu évolués d'érosion sur matériau gravillonnaire ;
- les sols hydromorphes peu humifères à pseudogley ;
- les sols ferrugineux tropicaux lessivés sur matériau argilo-sableux ;
- les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés à drainage interne sur sables éoliens.

Pour Roose *et al*, 1993, les sols du Yatenga sont particulièrement exposés à l'érosion hydrique du fait de leurs caractéristiques physiques :

- ❖ la longueur des pentes (parfois supérieures à 2 km) ;
- ❖ leur faible teneur en matière organique des sols (hors bas-fond) ;
- ❖ leur structure et leur texture qui les rendent particulièrement sensibles à la battance et à l'encroûtement.

Ces facteurs entraînent, pour le Yatenga, une quantité d'eau disponible très réduite pour les êtres vivants. La baisse de la pluviométrie est donc renforcée par une aridité édaphique ce qui joue un rôle important dans la réduction du couvert végétal.

4. La végétation

Cette région se situe au sein de l'immense pénéplaine qui couvre les trois quarts du Burkina-Faso (Koné, 2001). Elle appartient au domaine phytogéographique sahélien (Fontès et Guinko, 1995). Les formations végétales rencontrées comprennent des savanes arborées, des savanes arbustives et des steppes à arbrisseaux. Localement, les ligneux se rassemblent et forment des fourrés plus ou moins impénétrables. Les axes de drainage sont soulignés par des forêts galeries où dominant *Anogeissus leocarpus*, *Mitragyna inermis*, *Acacia spp.* Au niveau des surfaces cuirassées de la zone granitique, on trouve « la brousse tigrée », caractérisée par une alternance de bandes de végétation et de sol nu.

5. Les données socio-économiques

L'environnement socio-économique de cette province se caractérise par une densité de population élevée, un grand nombre d'ovins (moutons) et des activités économiques basées sur l'exploitation extensive du milieu naturel, qui devient de plus en plus dégradé. La conséquence en est un déficit céréalier chronique.

L'agriculture céréalière (petit mil et sorgho), pratiquée sur 90% de la surface cultivée (Roose *et al*, 1993), constitue la principale activité économique dans les villages. C'est une agriculture itinérante sur brûlis de vieilles jachères (Fontès et Guinko, 1995). L'élevage, également extensif et sédentaire, est exercé aujourd'hui par les agriculteurs ainsi par que les éleveurs de tradition (Ricard, 2000). Il est composé en majorité de petits ruminants et d'un nombre important de bovins. La cohabitation éleveurs-agriculteurs est réalisée grâce à des contrats de pâture. Ces animaux (moutons et bœufs) sont destinés à être vendus, et ils procurent un revenu supplémentaire pour les périodes difficiles.

Les cultures maraîchères constituent un secteur non négligeable et qui se développe avec l'aide des partenaires financiers. Elles constituent aujourd'hui une activité d'appoint, rémunératrice de revenus lors de la saison sèche.

6. Le site d'étude

Nous avons travaillé sur le site du village de Gourga (figure 2 & 3), qui est un petit village de 1 522 habitants (INSD, 2000), appartenant à la commune de Ouahigouya, situé à 8 km sur l'axe Ouahigouya-Kaya. Plus précisément, nos parcelles se situent dans le secteur n°15 de cette commune. Dans ce village, il existe de vieilles parcelles de zaï agricole, d'âges variables, laissées en jachères, et bénéficiant d'une mise en défens totale avec une régénération très souvent assistée par l'introduction d'espèces locales (*Acacia spp*, *Butyrospermum paradoxum* etc.), parfois exogènes (*Azadirachta indica*, *Eucalyptus camaldulensis* etc.), pour certaines parcelles. D'autres parcelles sont en revanche laissées à une régénération naturelle, sans assistance.

La flore est dominée par des buissons, des petits arbres multicaules et des plantes herbacées annuelles. A la différence des savanes soudaniennes situées plus au sud, les herbacées pérennes sont rares, notamment les grandes graminées. Cette rareté impose une reconstitution du couvert végétal tous les ans à partir de graines, ce qui le rend très dépendant du régime de précipitations de l'année (Couteron, 1997).

L'objectif premier de l'utilisation de la technique du zaï est l'augmentation de la production céréalière. La régénération végétale observée n'est qu'un produit secondaire.

Pour notre paysan innovateur, l'installation de sa première parcelle (la plus ancienne) au bas de la butte cuirassée s'expliquerait par le désir de piéger l'eau ruisselant de cette butte. Chaque année, les aménagements se sont poursuivis selon un itinéraire autour de la butte cuirassée (cf. figure 3).

Cette disposition des parcelles introduit certainement des différences entre les propriétés physiques et chimiques des sols selon leur situation dans la toposéquence du terrain aménagé. Ainsi ce gradient pourrait vraisemblablement avoir un effet sur la dynamique des écosystèmes et se superposer, d'une certaine façon, à l'évolution liée à l'âge des parcelles.

L'obligation, pour notre expérimentation, de tenir compte et de suivre cet itinéraire du paysan a également présenté des difficultés pour notre plan d'échantillonnage.

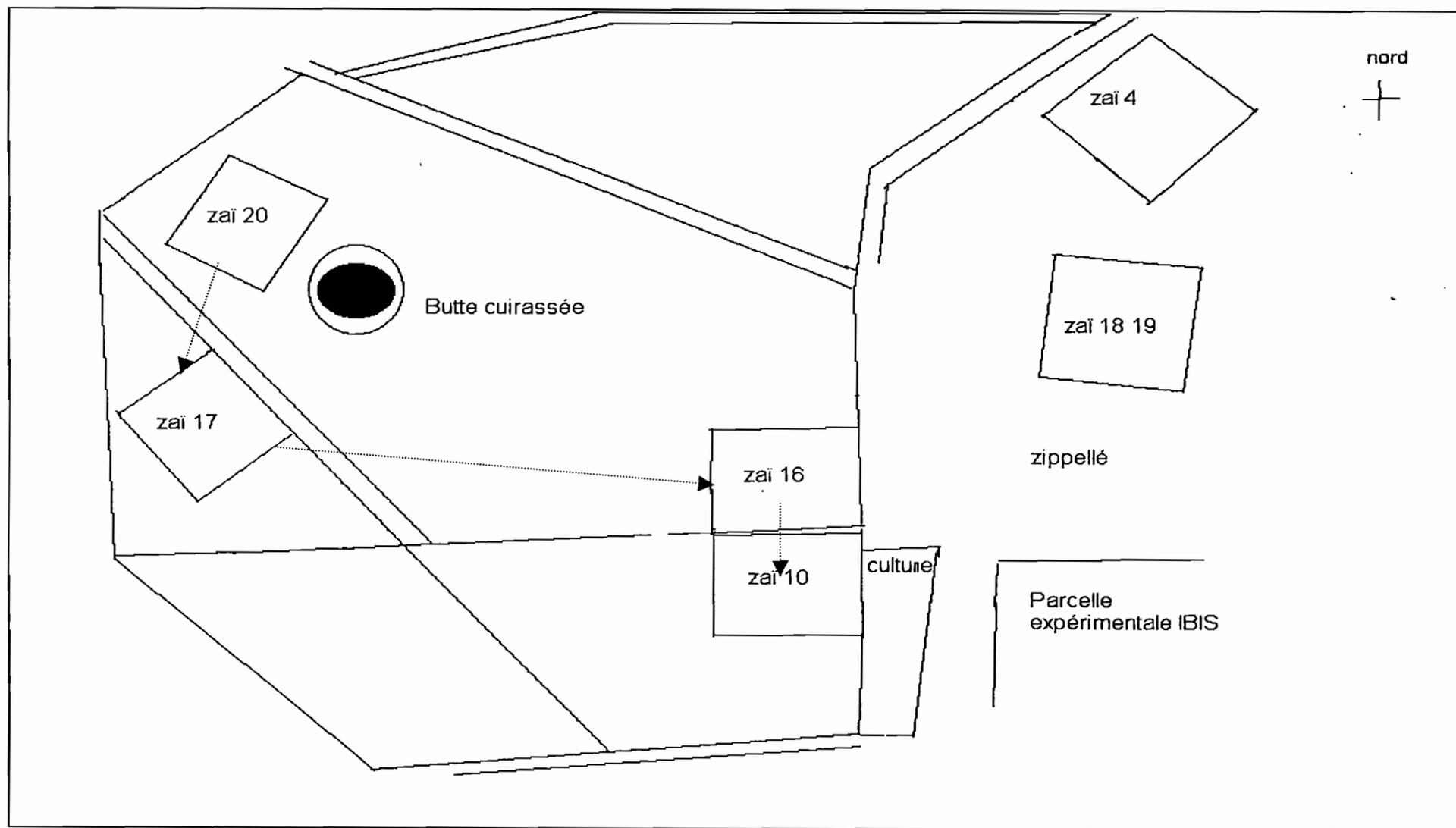


Figure 3 : Site du zaï forestier de Gourga

.....► Itinéraire du paysan

Dessin : Laguemvaré 2003

Chapitre III - Matériels et Méthodes

1. Matériels

1.1. Reconnaissance des parcelles

Les recherches ont été effectuées en milieu paysan. C'est à l'issue d'entretiens et de sorties sur le terrain, réalisées en compagnie des propriétaires de zaï, qu'une reconnaissance des différentes parcelles de zaï agricoles laissées en jachère fut déterminée.

Pour caractériser l'évolution végétale des sols récupérés, grâce à la technique du zaï et aux ouvrages anti-érosifs, nous avons choisi une méthode d'étude indirecte basée sur l'analyse parcellaire en comparant des parcelles ayant atteint différents stades d'évolution, à partir du même milieu de départ un « zipellé ». Nous avons donc réalisé une analyse de l'évolution du milieu à partir de relevés synchroniques.

Parmi les parcelles recensées, cinq parcelles âgées de 4, 10, 16, 17 et de 20 ans font l'objet d'une gestion précise des espèces implantées. Cette gestion consiste à entretenir les ouvrages de lutte contre l'érosion hydrique, à protéger les végétaux contre les activités humaines et pastorales, à introduire des espèces locales et exogènes, et à réaliser des paillages (pose de branchages) sur les plages de sol nu persistantes. Le zaï de 4 ans est toujours en exploitation agricole. A titre de comparaison avec ces parcelles entretenues régulièrement, nous avons choisi une parcelle de 18-19 ans qui a été laissée à la reconstitution naturelle du milieu, sans intervention directe du paysan.

Ce mode de gestion consiste à initier la régénération par la pratique du zaï agricole et à relancer ainsi la jachère par sa mise au repos. Aucun suivi ne lui est accordé, elle est laissée à une évolution naturelle du milieu.

Pour le paysan, l'âge est le critère de reconnaissance de ces parcelles, et aurait donc un effet sur l'évolution de la végétation.

Boudet (1984) recommande, pour une analyse phytosociologique, une aire minimale de 900 m² en savane et de 2500 m² en steppe. La zone étant classée par Fontes et Guinko (1995) dans le domaine phytogéographique sahélien, les relevés ont été faits sur des parcelles de 2500 m² (50m x 50m). Chaque parcelle de 2500 m² (figure 4) a été divisée en 25 carrés ou sous-

parcelles de 100 m² chacune. Chaque sous-parcelle de 100 m² fut à son tour divisée en 4 quadrats plus petits de 25m² (5m x 5m).

1.2. Le matériel étudié

Nos observations ont porté sur toutes les espèces végétales (ligneuses et herbacées) rencontrées, le milieu édaphique et aussi sur les nids épigés de termites.

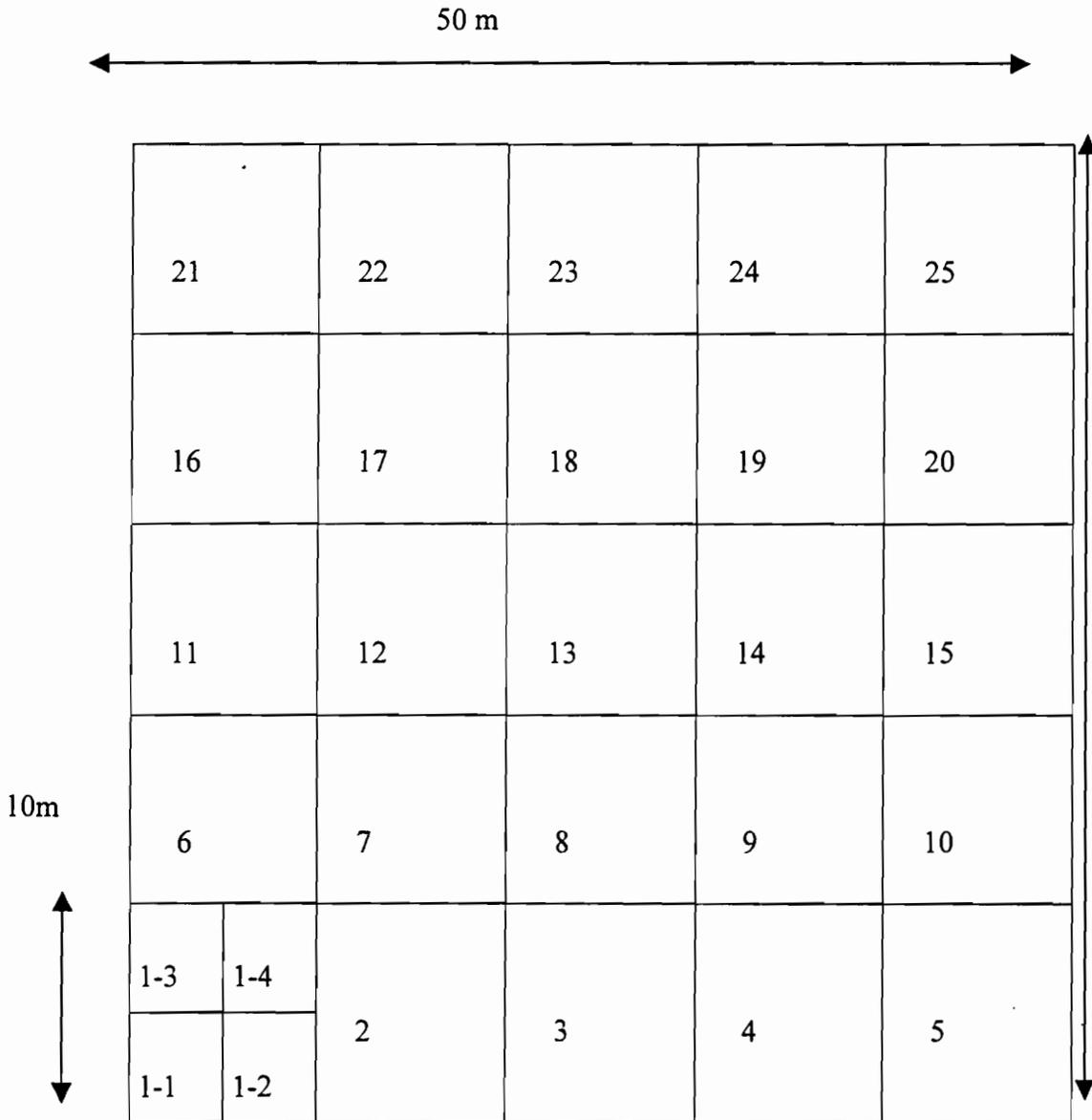


Figure 4 : Dispositif expérimental de base pour le relevé de la végétation

Légende :

- 50 m x 50m : parcelle de 2500 m²
- 10 m x 10 m : parcelle de 100 m² (25 parcelles de 100 m²)
- 5 m x 5m : parcelle de 25 m² (100 parcelles de 25 m²)
- 1, 2, ..., 25. Numéros des parcelles de 100 m²
- 1-1 ; 1-2 ; 1-3 ; 1-4 : sens de numérotation des parcelles de 25 m²

2. Méthodes

2.1. Relevé et mesures des espèces ligneuses

L'inventaire de la végétation ligneuse a été fait en fin de saison des pluies (septembre), sur l'ensemble du site. Il a consisté à inventorier pied par pied tous les individus ligneux ayant une hauteur supérieure à 50 cm et une circonférence supérieure à 5 cm.

Pour ces individus, les mesures suivantes ont été effectuées :

- hauteur totale : la mesure est faite à l'aide d'une perche graduée, tenue verticalement depuis la base jusqu'à la hauteur du dernier bourgeon.
- circonférence à la base, mesurée avec un mètre ruban souple entre 10 à 20 cm du sol.

Pour Poupon (1980), cette donnée inhabituelle (puisque d'une façon générale, tous les travaux concernant les arbres indiquent la valeur du diamètre à 1,30 m de hauteur = D.B.H.), nous a été imposée par la forme même des arbres : nombre d'entre eux présentent des ramifications très basses.

Kenel (1964, in Poupon, 1980) montre que l'utilisation du ruban métrique souple est de loin préférable à celle utilisant un compas. Pour les espèces multicaules, la plus grosse tige a été retenue pour la mesure (Poupon et Bille, 1974).

Ces mesures permettent, d'analyser la composition floristique, la distribution des effectifs et les densités des individus et des espèces, ainsi que la structure verticale et horizontale des différents peuplements mais aussi les surfaces terrières.

2.2. Relevé des plantules

Le comptage et le relevé des plantules ont été effectués à l'intérieur des quadrats de 25 m². Le nom spécifique et le nombre ont été déterminés.

Dans notre cas, le terme plantule regroupe à la fois les jeunes plants portant encore les cotylédons et les jeunes ligneux jusqu'à une hauteur inférieure à 50 cm. Ces mesures devront permettre d'apprécier la régénération et la mortalité des plantules ligneuses.

Pour Konaté (1999), la régénération assure la relève des individus adultes dans un peuplement, tandis que la mortalité se caractérise par un assèchement total de l'appareil aérien de l'individu. Pour mieux apprécier la régénération des peuplements et des espèces, nous avons adopté la même classification que Konaté (1999), pour qui le taux de régénération est le rapport du

nombre total des plantules de la strate de régénération sur la somme des plantules de cette strate et des individus adultes :

- si le taux de régénération est compris entre 50 et 100%, la régénération naturelle est dite abondante ;
- la régénération est dite moyenne, si le taux de régénération est compris entre 25 à 50% ;
- la régénération est dite faible, si le taux de régénération est de 10 à 25% ;
- la régénération est nulle, si le taux de régénération est compris entre 0 et 10%.

2.3. Relevé des espèces herbacées et mesure de la biomasse

2.3.1. Analyse de la végétation herbacée

Pour l'analyse linéaire de la végétation herbacée, la méthode des points-quadrats de Daget et Poissonnet (1971) a été utilisée. Cette méthode fournit les meilleurs résultats dans l'interprétation de l'évolution d'un pâturage (Boudet, 1991). Elle permet de caractériser l'importance de chacune des espèces dans le tapis végétal, par l'observation de fréquences par points appelés « points quadrats » ou « points contacts ».

2.3.2. Description de la méthode

Sur le terrain dans chaque parcelle de 2500 m², douze carrés de 100 m², sont pris en alternance de type damier, de manière à couvrir toute l'aire étudiée (figure 4). Sur chaque carré retenu, la diagonale est balisée par un décamètre tendu entre deux piquets. Une ligne de lecture de 14 m est ainsi matérialisée par ce dispositif (figure 5). La lecture est faite tous les 20 cm sur tout le long de la ligne, avec l'aide d'une tige métallique, régulièrement implantée au sol matérialisant la ligne de visée. Par convention, chaque espèce est notée une seule fois par contact (Boudet, 1984 ; Grouzis, 1988). Une telle ligne permet d'obtenir 70 points par 100 m², soit 840 points pour chaque parcelle.

Si cette méthode donne des résultats appréciables, elle ne permet pas en revanche de récolter toutes les espèces présentes sur le site. C'est pourquoi, lorsque nous finissons de parcourir le transect, nous recensons les autres espèces herbacées non échantillonnées en explorant toute la surface de la parcelle.

Toutes les espèces rencontrées ont été collectées et mises sous presse par unité d'échantillonnage.

2.3.3. Mesure de la biomasse

La biomasse herbacée est récoltée de part et d'autre de la ligne de lecture. De chaque côté de la ligne centrale, on mesure perpendiculairement un transect de 25 cm de large de part et d'autre de la ligne, matérialisé par des piquets. Une ficelle est tendue de façon à déterminer une surface de récolte de 7 m², divisée en 2 surfaces de 3,5 m² (figure 6). Une coupe rase de la strate herbacée est ensuite effectuée, en évitant de détruire les plantules ligneuses.

Enfin un tri sépare, pour chaque sous transect, la biomasse totale recueillie selon les espèces principales, en représentant approximativement 75%. Les autres espèces herbacées étant regroupées dans un seul échantillon.

Chaque espèce triée ainsi que les espèces « diverses » ont été mises dans des sacs séparés et regroupés par carré. Tous les échantillons sont mis à l'étuve et les poids secs sont déterminés.

Pour l'ensemble de la strate herbacée, le recouvrement est estimé en pourcentage dans les carrés de 25 m² et une moyenne est calculée pour la parcelle de 100 m².

2.4. Relevé des termites

Les termitières épigées sont relevées dans les différentes parcelles et sous-parcelles de zaï forestier étudiées. Sur ces termitières, les paramètres suivants sont mesurés :

- l'espèce de termite (classification selon les groupes trophiques) ;
- l'état de la termitière, qui est, soit en activité, soit abandonnée ;
- les dimensions de la termitière : hauteur totale et circonférence à la base ;
- le volume, en assimilant la termitière à un volume simple ;
- l'activité des termites, manifestée par la présence de placages de récolte (en terre) ou par des galeries de récolte.

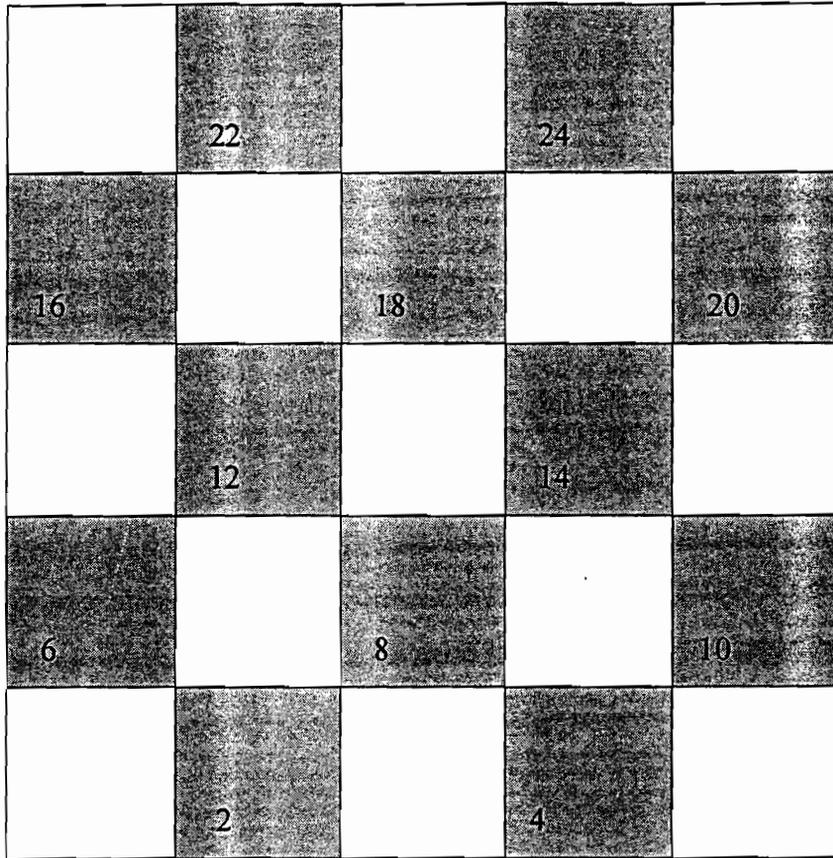


Figure 5 : Parcelles retenues en alternance damier pour la récolte de la biomasse

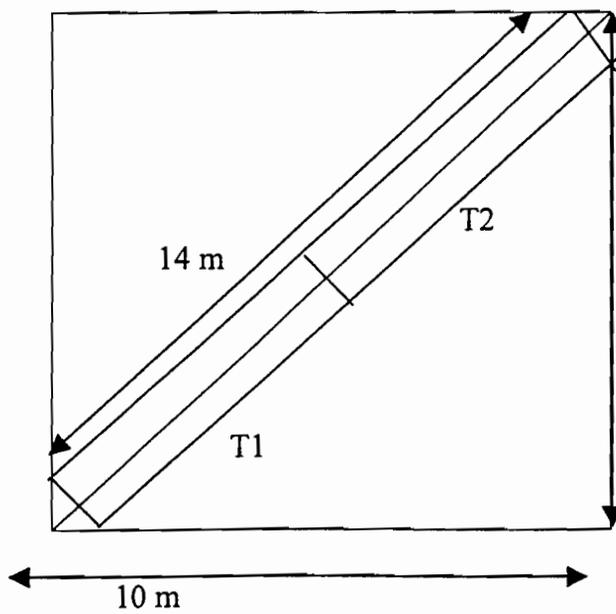


Figure 6 : Technique de relevé des points quadrants et de la récolte de la biomasse

2.5. Echantillonnage du sol

Cette approche pédologique est destinée à mieux comprendre la dynamique de ces formations encroûtées récupérées. La question fondamentale est de savoir si la mise en jachère d'un sol récupéré s'accompagne d'une dégradation, d'un maintien ou d'une amélioration des facteurs de fertilité propres du sol. Pour cela l'échantillonnage du sol a tenu compte des paramètres suivant: sous couvert, hors couvert, intra-poquet et hors poquet.

Cet échantillonnage a concerné toutes les unités de zaï forestiers. Dans chaque parcelle de 2500 m², le prélèvement s'est effectué dans chacune des 25 sous-parcelles de 100 m².

Sur chacune de ces sous-parcelles, et pour chaque paramètre, le sol de profondeur 0-20 cm est prélevé en 3 endroits différents. Ces trois prélèvements sont ensuite mélangés pour obtenir un échantillon unique qui fera l'objet des différentes analyses.

3. Traitement des données

A partir des données recueillies sur le comptage des individus ligneux et herbacés, nous déterminons :

- la richesse spécifique (nombre d'espèces présentes) ;
- la fréquence spécifique (nombre d'individus par espèce).

Le premier paramètre permet une mesure de la diversité biologique des unités de zaï forestiers étudiés. Pour cette estimation de la biodiversité, deux indices ont été utilisés :

* **L'indice de Shannon H (d) :**

Les valeurs moyennes de l'indice de Shannon-Weaver (Barbault, 1995), calculées pour chaque classe d'âge de zaï, permettent de suivre l'évolution de la diversité de la végétation avec le temps. Cet indice se calcule selon la formule suivante:

$$H(d) = - \sum p_i \log_2 p_i$$

où p_i est la contribution spécifique de chaque espèce et \log_2 le logarithme de base 2.

L'indice de Shannon est nul lorsqu'il y a une seule espèce et sa valeur maximale est égale à $\log_2 S$ lorsque toutes les espèces ont la même contribution (S étant le nombre d'espèces).

* **L'équitabilité J**, selon la formule :

$$J = H(d) / H_{\max}$$

J tend vers zéro lorsqu'une espèce domine largement le peuplement et elle est égale à 1 lorsque toutes les espèces ont la même contribution (Blondel, 2000).

Les mesures de hauteur et de circonférence effectuées sont utilisées pour établir une classification en strate des peuplements, qui nous donne une image de la structure verticale et horizontale des parcelles.

Ces données numériques servent à calculer :

- pour la végétation ligneuse, les hauteurs et les diamètres moyens permettant une analyse des populations par espèces et du peuplement ligneux en fonction de la durée de la jachère ;
- pour la végétation herbacée, les paramètres suivants :
 - la fréquence spécifique (Fsi), qui est le nombre de points où une espèce (i) a été recensée. Elle correspond à un pourcentage de couvert ;
 - la contribution spécifique (Csi), qui indique la contribution de l'espèce (i) à la constitution du tapis herbacé.

$$Csi = 100 \times Fsi / \sum Fsi$$

Le traitement numérique de tous ces paramètres a été fait à l'aide du tableur Excel (Microsoft). Cela nous a permis de présenter des tableaux de synthèse et d'illustrer nos résultats par des histogrammes et des courbes.

Le logiciel « XLSTAT, (ADDINSOFT) » a été utilisé pour l'analyse factorielle des correspondances ainsi que pour l'analyse en composantes principales.

L'analyse factorielle des correspondances permet une analyse diachronique des populations complexes (Ovalle, 1986 ; Balent, 1986). Les diagrammes obtenus représentent les corrélations entre les espèces et l'âge de la parcelle.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) permet d'effectuer la synthèse des informations apportées par un grand nombre de variables. Nous l'avons utilisée pour établir les corrélations entre les variables mesurées et visualiser sur des graphiques, la répartition des parcelles de zaï par rapport aux différentes variables identifiées.

Chapitre IV - RESULTATS

1. Analyse des sols

Comme indiqué dans le Chapitre relatif à la Méthodologie, bien que les prélèvements de sol aient été réalisés dans chaque sous-parcelle de notre échantillonnage, aux fins d'analyses physico-chimiques, nous n'avons pu effectuer, dans le temps imparti pour cette étude, qu'une première analyse de la texture. 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 1.

Tableau I : Analyse gravillonnaire des sols au tamis de 2 mm

	Proportion de gravillons	
	H.C en %	S.C en %
Zaï 4	67,7	59,3
Zaï 10	28,8	28,6
Zaï 16	37,2	40,8
Zaï 17	18,9	19
Zaï 20	14,6	14,3
Zaï 18-19	55,6	52,7

Legende : H.C : hors couvert et S.C : sous couvert, pour les zaï de 10, 16, 17, 20 et 18-19 ans ; (pour le zaï de 4 ans, ces symboles signifient respectivement hors poquet et intra-poquet.)

Ces proportions de gravillons et de terre fine correspondent à un échantillon composite de 1 kg environ prélevé entre 0 et 20 cm de profondeur.

Le zaï 4 ans et le zaï 18-19 ans ont les plus fortes proportions de gravillons (63,9 % en moyenne pour le zaï 4 et 54,15 % en moyenne pour le zaï 18-19). Ces fortes proportions sont dues, au fait que le zaï 4 ans est une parcelle nouvellement récupérée et que le zaï 18-19 ans, par ailleurs situé vers le haut de pente, constitue une zone de pâture et d'activités humaine avec des indices d'érosion (absence de cordons pierreux, présence de plage nues gravillonnaires...). Le zaï 16 ans est situé en haut de pente par rapport au zaï 10 ans, et présente malgré son âge un taux moyen élevé de gravillons (39 % contre 28 %) au zaï 10. Les zaï de 20 et 17 ans ont les

plus faibles taux de gravillons (14,45 % et 19 %). Ces deux parcelles sont les plus âgées et bénéficient de la gestion du paysan.

Ces premiers résultats quant aux propriétés des sols permettent de supposer l'existence d'une certaine hétérogénéité entre les parcelles. Cette hétérogénéité a certainement une influence sur la dynamique de la végétation et la vitesse de récupération des terrains dégradés. Les résultats attendus des analyses physiques et chimiques permettront de préciser le rôle du facteur sol dans l'évolution de ces milieux.

2. Suivi de la diversité végétale

Le concept de diversité comporte deux notions qui doivent être considérées de façon simultanée : la première concerne le nombre d'espèces présentes dans un écosystème donné. La seconde se rapporte à la façon dont les individus des diverses espèces se répartissent (Akpo et al., 1999).

La mesure de cette diversité caractérise et compare globalement des peuplements, ou des états successifs d'un même peuplement (Barbault, 1995).

2.1. Composition spécifique des peuplements

2.1.1. L'approche globale de la composition des peuplements

Bien que la strate ligneuse et la strate herbacée soient étroitement liées, ces deux éléments du système écologique, mesurés par des méthodes différentes, sont décrits séparément (Grouzis, 1988).

La liste floristique des ligneux (annexe 1) comprend 54 espèces, appartenant à 22 familles, dont les plus représentées sont les suivantes :

- les Mimosaceae 18 % ;
- les Combretaceae 12 % ;
- les Caesalpinaceae 10 % ;
- les Capparaceae 10 %.

La liste des espèces herbacées (annexe 2) comprend 50 espèces, appartenant à 17 familles, dont les plus représentées sont les suivantes :

- les Poacées 31 % ;
- les Fabacées 19 %.

Ces espèces ligneuses et herbacées ont été recensées sur l'ensemble de notre site d'étude.

L'analyse globale repose sur un traitement par analyse factorielle des correspondances (AFC) des ensembles parcelles de zaï-contribution d'espèces.

Pour chaque strate, les relevés des fréquences des espèces sont utilisés dans l'AFC afin de mettre en évidence le poids des différences de composition spécifique des parcelles et montrer une évolution de la végétation dans chaque strate.

Diversité ligneuse

Nos résultats montrent que les deux premiers axes rendent compte, suivant la strate considérée, de 78 % (strate ligneuse) de la variabilité totale. On pourrait donc limiter notre interprétation à l'étude du plan défini par ces deux premiers axes.

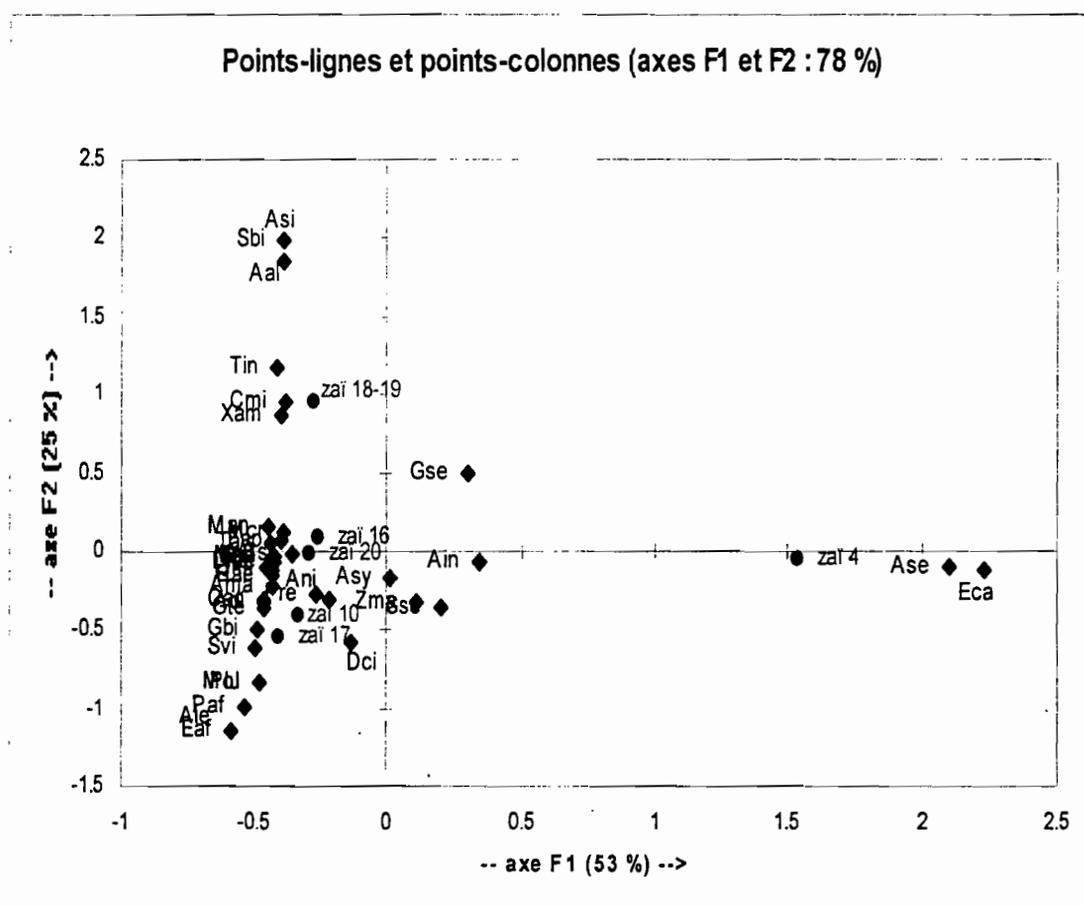


Figure 7 : Etude diachronique de la strate ligneuse par AFC plan F1 / F2

L'examen de la figure 7 montre que le zaï 4 et le zaï 18-19 se distinguent du reste du groupe, avec deux espèces introduites pour le zaï 4 (*Acacia senegal* et *Eucalyptus camadulensis*) et une espèce exclusive (*Acacia siberiana*) et cinq autres espèces avec des fréquences relativement

Diversité herbacée

Dans l'AFC, les deux premiers axes F1 et F2 représentent 71 % de la variabilité. La figure 9 présente les résultats.

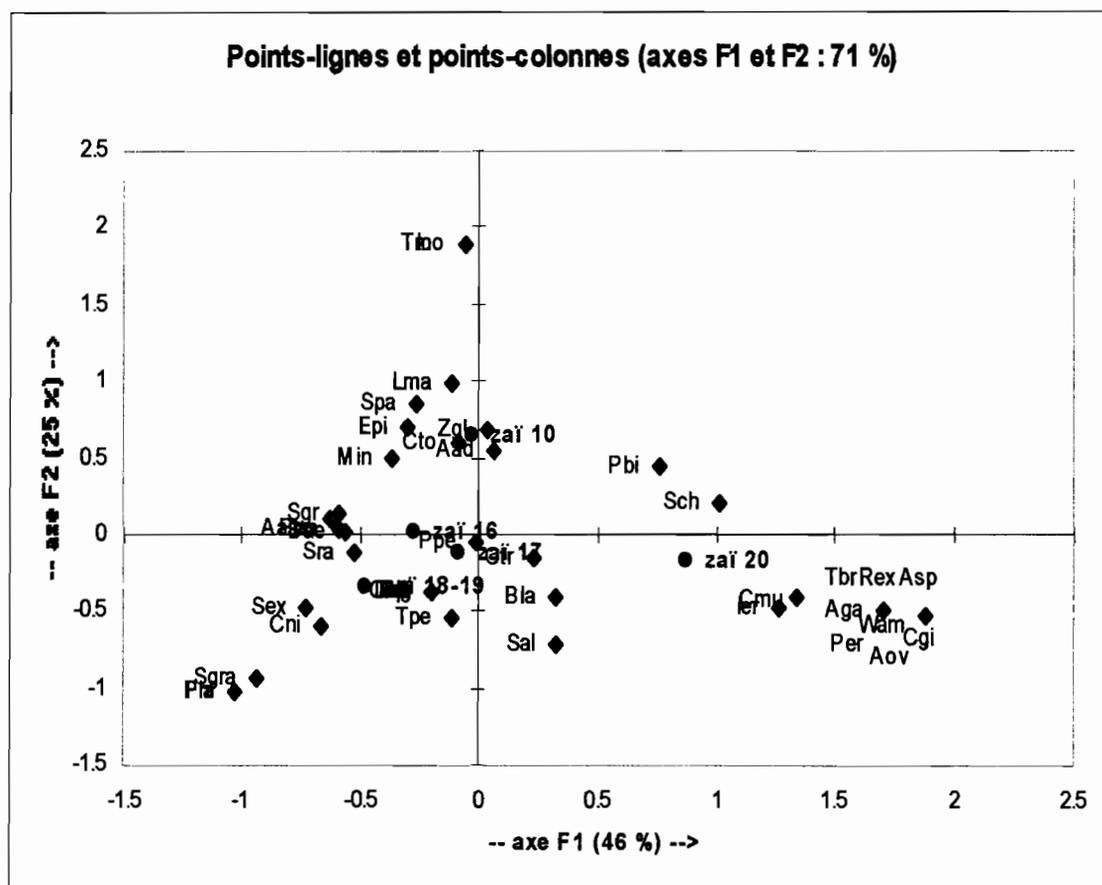


Figure 9: Etude diachronique de la strate herbacée par AFC

Cette figure 9 met en évidence également l'apparition d'une seule communauté herbacée. Elle traduit l'existence d'une flore commune à toutes ces parcelles. Seule la parcelle de 20 ans présente quelques espèces pérennes qui permettent de distinguer ce milieu (*Andropogon gayanus*, *Cymbopogon giganteus* etc.).

Les figures 7, 8 et 9 illustrent bien que la revégétalisation ligneuse et herbacée, serait issue d'un potentiel séminal présentant de grandes similitudes, et que l'âge ne serait pas le seul facteur important dans l'apparition et l'augmentation de la diversité végétale.

2.1.2. L'approche synchronique de la composition des parcelles

La strate ligneuse

Le tableau 2 présente le nombre total d'espèces et de familles, recensées selon l'âge de la parcelle.

Tableau II : Caractéristiques floristiques de la strate ligneuse

	Zaï forestier					
	4 ans	10 ans	16 ans	17 ans	20 ans	18-19ans
Nombre total d'espèces ligneuses	22	31	33	35	40	31
Nombre total de familles	10	15	16	16	17	17
Nombre d'espèces exclusives	2	2	1	1	5	1
Nombre d'espèces communes	15					

On observe, de manière générale, une augmentation du nombre d'espèces et de familles en fonction de l'âge de la parcelle, depuis sa mise en jachère.

Le zaï forestier de 20 ans apparaît comme la parcelle la plus diversifiée, avec un total de 40 espèces ligneuses, appartenant à 17 familles. La parcelle la moins diversifiée est celle de 4 ans, la plus récente, avec 22 espèces appartenant à 10 familles.

Ce tableau met également en évidence l'existence d'une flore pionnière d'environ 15 espèces, qui reste commune à toutes les parcelles, confirmant les résultats de l'AFC. Il existe une grande similitude entre les différentes parcelles, du point de vue de leur composition spécifique. Seule la parcelle de 20 ans présente le plus grand nombre d'espèces exclusives (5 espèces). Ce sont : *Commiphora africana*, *Capparis corymbosa*, *Maytenus senegalensis*, *Bridelia ferruginea*, *Gardenia sokotensis*.

La parcelle de 18-19 ans, correspondant à un zaï forestier non entretenu, présente une certaine différence avec le zaï entretenu de 20 ans, bien que son âge ne soit pas très différent : 31 espèces au total, au lieu de 40.

La strate herbacée

La strate herbacée présente également une tendance évolutive en dents de scies. Le zaï 17 se distingue nettement des autres parcelles, avec un pic de diversité de 33 espèces dont 6 espèces qui lui sont exclusives (tableau 3).

Tableau III : Caractéristiques floristiques de la strate herbacée

	Zaï forestier				
	10 ans	16 ans	17 ans	20 ans	18-19 ans
Nombre total d'espèces herbacées	24	20	33	29	21
Nombre de familles	12	9	12	13	12
Nombre d'espèces exclusives	1	1	6	4	3
Nombre d'espèces communes	7				

2.2. Analyse de la biodiversité

2.2.1 Indice de Shannon et équitabilité

L'étude de la biodiversité, selon l'indice de Shannon, couplée avec l'équitabilité, fournit des renseignements sur l'évolution des peuplements au cours du temps.

Tableau IVa : Valeurs des indices de diversité des ligneux par 100 m²

	Zaï 4	Zaï 10	Zaï 16	Zaï 17	Zaï 20	Zaï 18-19
Indice de Shannon	1,98	2,99	3,24	2,28	3.2	2.56
Équitabilité	0,55	0,66	0,71	0,48	0.64	0.56

Tableau IVb : Valeurs des indices de diversité des herbacées par 100 m²

	Zaï 10	Zaï 16	Zaï 17	Zaï 20	Zaï 18-19
Indice de Shannon	2.20	2.06	1.49	2.33	2.10
Équitabilité	0.137	0.103	0.059	0.089	0.15

Les valeurs du tableau 4 montrent, pour les deux strates, une évolution nette vers une diversité plus élevée suivant l'âge du zaï forestier. Mais on observe une meilleure répartition de la diversité ligneuse dans les différentes parcelles, sauf dans le zaï forestier de 17 ans où domine

l'espèce *Piliostigma reticulatum*, ce qui se traduit par une faible valeur de son indice d'équitabilité. La strate herbacée présente une moindre variation dans sa diversité spécifique, car la répartition des espèces est dominée, dans toutes les parcelles, par l'espèce *Pennisetum pedicellatum*.

2.2.2. L'évolution de la richesse spécifique

La figure 10a présente l'évolution de la richesse spécifique moyenne par 100 m² pour la strate ligneuse. A l'échelle de ces sous-parcelles, on constate nettement une augmentation progressive du nombre d'espèces présentes selon l'âge du zaï. Cette évolution traduit à la fois l'augmentation du nombre global d'espèces au niveau de la parcelle, mais aussi une meilleure répartition des espèces dans l'ensemble de la parcelle.

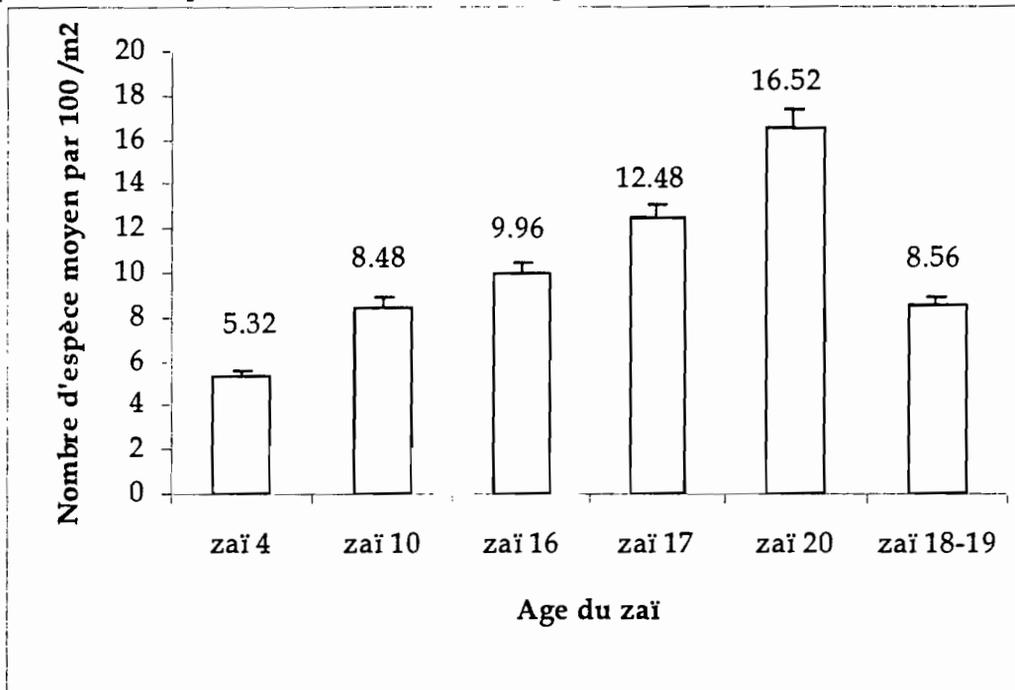


Figure 10a : Evolution de la diversité spécifique moyenne par 100m² (strate ligneuse)

La figure 10b présente l'évolution de la diversité herbacée moyenne par 100 m². Sur cette figure 10b, l'évolution spécifique de la strate herbacée est relativement stable. Toutefois, le zaï de 20 ans se distingue par une forte valeur de sa richesse spécifique (7,66) par rapport aux autres zaï. Pour les autres parcelles (10, 16 et 17), les valeurs (5,16 ; 5,33 ; 5,41), semblent traduire une certaine stabilité spécifique dans ces parcelles (7 espèces sont communes à toutes les parcelles).

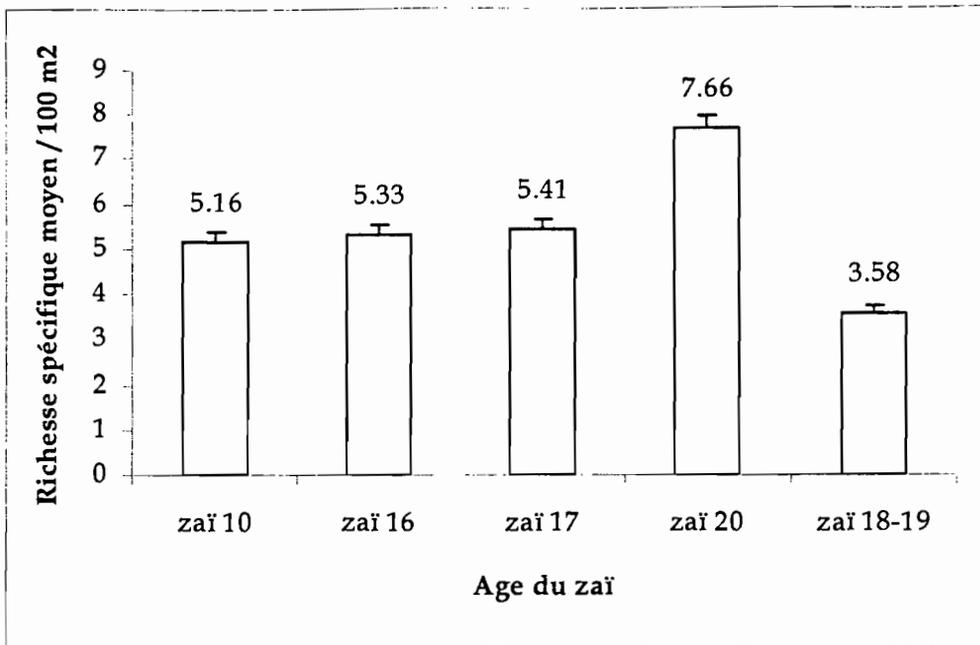


Figure 10 b : Evolution de la diversité spécifique moyenne par 100 m² (strate herbacée)

3. Structure du peuplement ligneux

La structure du peuplement ligneux est abordée selon le mode de distribution spatio-temporel (répartition des effectifs, profils de stratification, évolution du potentiel ligneux) des individus.

3.1. Répartition des effectifs des espèces ligneuses

La figure 11 présente la répartition des effectifs des espèces ligneuses dans les différents zaï. Sur la majorité des parcelles étudiées certaines espèces contribuent fortement au peuplement ligneux pour plus de 36 %. Ce sont : *Acacia senegal* (49% pour le zaï 4) ; *Piliostigma reticulatum* (39 % pour le zaï 10 ; 57 % pour le zaï 17 ; 37 % pour le zaï 20) ; *Combretum micranthum* (39 % pour le zaï 18-19). Le zaï 16 présente une meilleure répartition de ces espèces, 5 espèces contribuent à 82 % de son peuplement. Dans l'ensemble, ces figures présentent des fréquences spécifiques très irrégulières d'une parcelle à l'autre. L'évolution des espèces du site conforte l'hypothèse que le fonctionnement du zaï forestier serait plus lié à un « effet sol » du milieu, qu'à un effet « âge » des parcelles.

Ainsi une espèce comme *Guiera senegalensis*, évolue de la manière suivante : elle représente 18 % du peuplement dans le zaï 4, 1 % dans le zaï 10, 13 % dans le zaï 16, 3 % dans le zaï 17 et enfin 15 % dans le zaï 20. *Piliostigma reticulatum*, par contre, représente 14 % du peuplement dans le zaï 4, 39 % dans le zaï 10, puis 22 % dans le zaï 16, ensuite 57 % dans le 17 et enfin 37 % dans le zaï 20. Cette évolution consolide notre hypothèse selon laquelle les caractères pédologiques (chimiques et physiques) permettraient l'expression de l'espèce végétale.

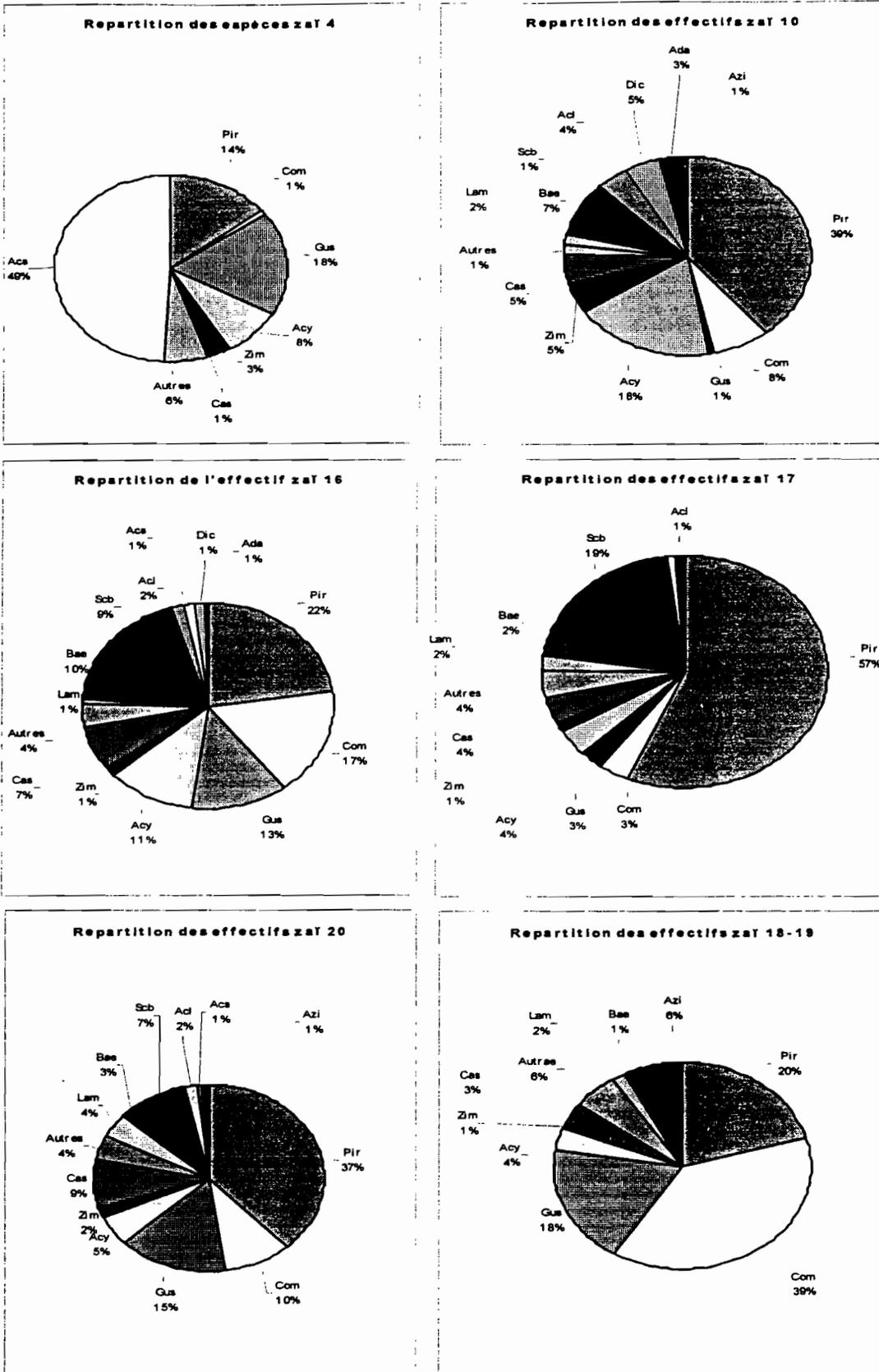


Figure 11 : Répartition des effectifs des espèces ligneuses dans les différents zaï forestiers (voir la liste des abréviations utilisées sur l'Annexe 1)

3.2. Circonférences et hauteurs des individus

Le tableau 5 donne la taille moyenne (hauteur et circonférence) des individus dans les différents peuplements de zaï.

Tableau V : Hauteurs et circonférences moyennes des individus ligneux dans les zaï étudiés

	Zaï 4	Zaï 10	Zaï 16	Zaï 17	Zaï 20	Zaï 18-19
Circonférence moyenne (cm)	8.27	10.12	11.65	10.64	15.05	14.13
Hauteur moyenne (cm)	103.47	154.46	202.89	188.52	230.09	208.27

L'observation du tableau permet de comparer les peuplements selon l'âge des différentes formations de zaï, à partir des hauteurs et circonférences moyennes. C'est ainsi que la parcelle de 17 ans se distingue nettement par des valeurs plus faibles que ne le laisserait supposer sa place dans la chronologie des parcelles : il s'agit essentiellement d'individus de petite taille dans cette parcelle occupée à 57 % par *Piliostigma reticulatum*, qui est en général un arbuste avec une cime touffue et ronde (Von Maydell, 1992).

Pour les autres valeurs, les mesures augmentent globalement et laissent présumer une jeunesse relative et évolutive.

En revanche, malgré les différences importantes des peuplements qui existent entre le zaï entretenu de 20 ans et le zaï non entretenu (18-19 ans), les individus de cette dernière parcelle y sont relativement de grande taille, par leur diamètre.

3.3. Distribution verticale des individus selon les zaï

L'analyse de cette distribution verticale des individus permet de définir les différentes strates et leurs proportions relatives, et de comparer ainsi l'évolution des différentes parcelles. Cette structure est représentée par l'histogramme des classes de fréquences de hauteurs (figure 12). Les histogrammes présentent la distribution des tiges en classes de hauteurs, selon les effectifs de ces classes. Les représentations graphiques de cette distribution des individus en classes de hauteurs sont caractérisées par une dominance des faibles hauteurs (allure parabolique des courbes) pour les zaï de 4, 10 et 16 ans. Les histogrammes des parcelles de 17 et 20 ans traduisent des peuplements plus matures (allure normale des courbes). Quant au zaï de 18-19 ans, il présente les caractéristiques d'un peuplement perturbé (individus rabougris).

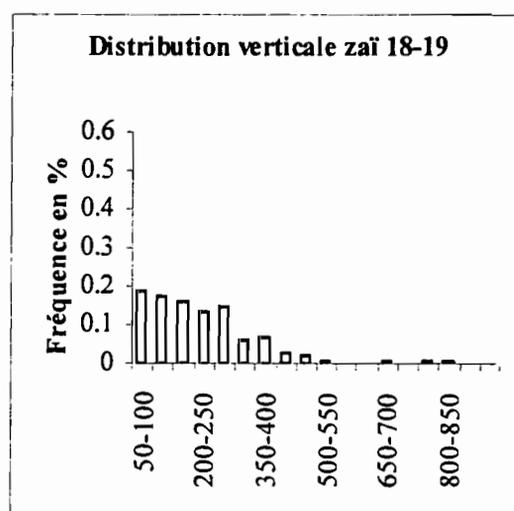
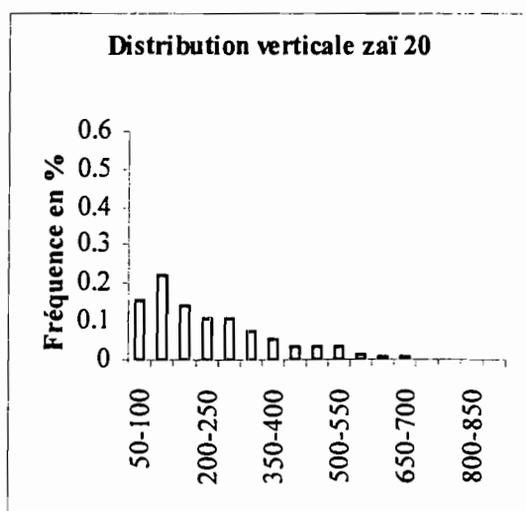
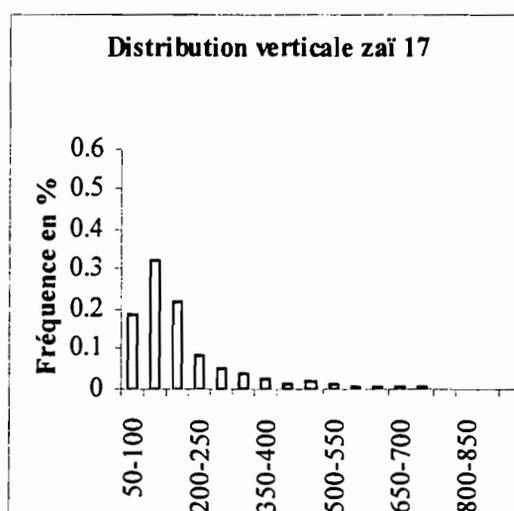
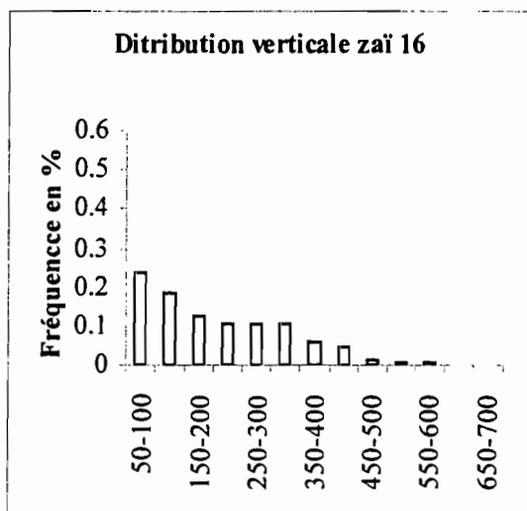
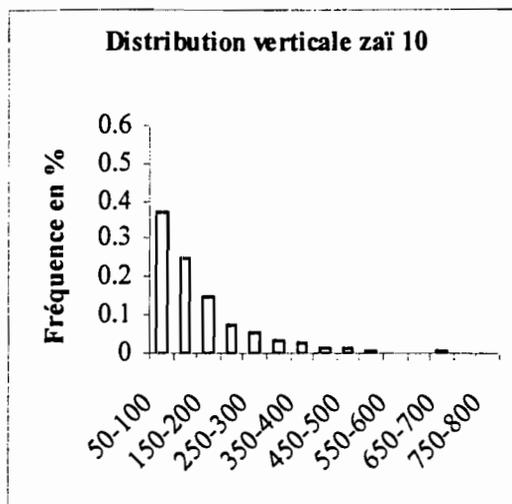
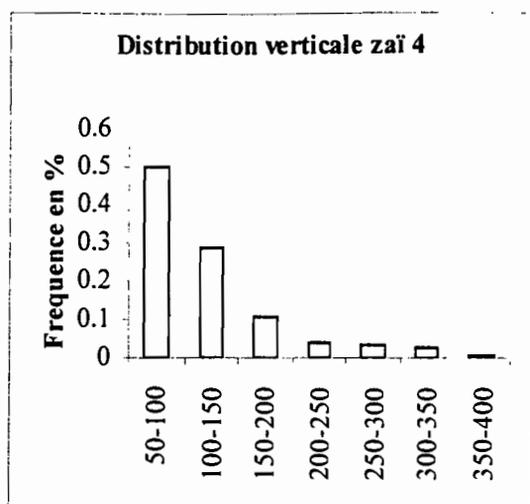


Figure 12 : Répartition des individus ligneux en classes de hauteurs selon leurs fréquences

3.4. Distribution horizontale

La structure horizontale du peuplement ligneux se traduit par les histogrammes de fréquence des classes de circonférences et par un graphique en coordonnées semi-logarithmiques, avec en abscisse les classes de circonférences et en ordonnée, le logarithme de l'effectif de chaque classe. Cette représentation permet de différencier selon les peuplements trois types de courbes (Loetsch et al., 1961 in Devineau 1975) :

- le premier type est une droite et correspond à l'équilibre du peuplement ;
- le deuxième type est une courbe à concavité tournée vers le bas ; il correspond à un mélange de peuplements pris à des stades de maturités différentes ;
- le troisième type est une courbe à concavité tournée vers le haut, dans ce cas la diminution du nombre de tiges est moins forte que ne le laisserait prévoir une variation linéaire.

De plus, des accidents dans le figuré des courbes indiquent, selon Rollet (1979, in Grouzis, 1998), des peuplements perturbés.

Le graphique de la figure 13 donne, pour chaque parcelle de zaï, la répartition des individus en fonction de leurs circonférences en coordonnées semi-logarithmiques. Il apparaît qu'aucun peuplement n'est en équilibre si on se réfère aux définitions de Loetsch *et al.* (1961 in Devineau, 1975). De plus, toutes les courbes obtenues montrent une concavité tournée vers le bas, ce qui correspond à un mélange de peuplements de stades de maturité différents.

Ce mélange de maturités s'expliquerait par le mode de mise en place de la communauté végétale présente. Il s'agit dans notre cas, d'une végétation issue de sols récupérés, de différents âges.

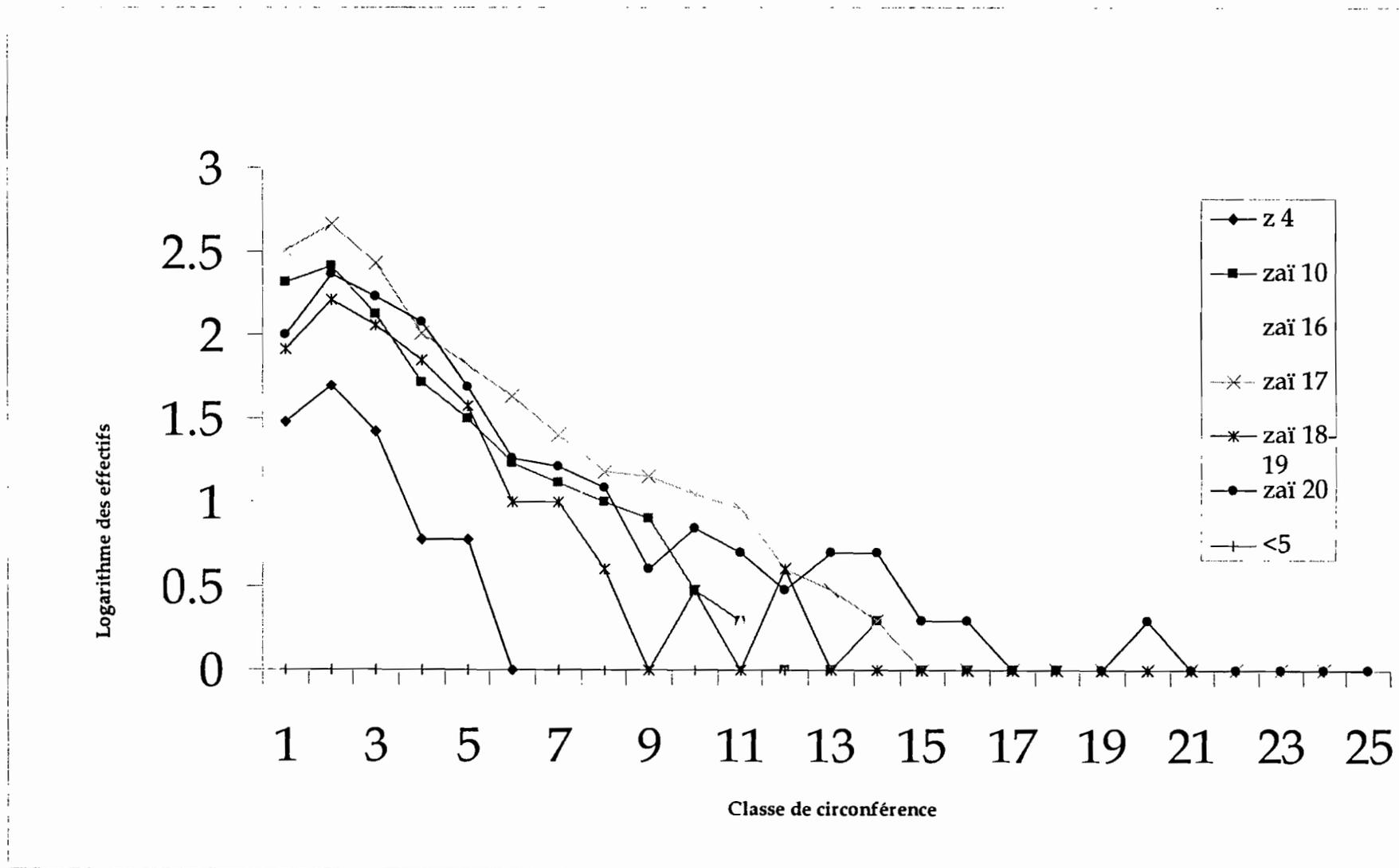


Figure 13 : Structure démographique du peuplement ligneux des différentes unités de zaï forestier

3.5. Surfaces terrières et densités

3.5.1. Evolution des surfaces terrières

Le tableau 6 donne les valeurs des densités et des surfaces terrières, c'est à dire la somme des sections de troncs, extrapolée par hectare de référence, selon les parcelles de zaï.

Tableau VI : Evolution de la densité et de la surface terrière par hectare des parcelles de zaï forestier

	Zaï 4	Zaï 10	Zaï 16	Zaï 17	Zaï 20	Zaï 18-19
Densité (n/ha)	484	2960	3024	5512	3088	2052
Surface terrière (m ² /ha)	0.44	5.09	6.36	10.32	9.94	6.59

Ce tableau permet de voir une augmentation du nombre de pieds de ligneux à l'ha selon l'âge croissant des parcelles de 4 à 17 ans. Parallèlement, la surface terrière aussi montre également une augmentation de ses valeurs. La densité des individus baisse ensuite dans le zaï de 20 ans, mais on a vu précédemment que le peuplement de cette parcelle se caractérisait par des individus de plus grande taille, ce qui entraîne une surface terrière peu différente de celle mesurée dans le zaï de 17 ans.

En revanche, le zaï non entretenu de 18-19 ans montre une diminution notable de la densité des ligneux (66% de la densité de la parcelle de 20 ans) et de la surface terrière (66% de celle mesurée dans le zaï de 20 ans).

3.5.2. Répartition spatiale des densités ligneuses par 25 m²

L'analyse de la figure 14 montre que 4 ans après la récupération d'un zipellé, les zones nues (surfaces jaunes sur la figure) qui subsistent occupent plus d'un 1/5 (525m²) de la superficie expérimentale. Le nombre des individus qui croît avec l'âge, entraîne le renforcement de la couverture ligneuse et la disparition des plages nues. C'est ainsi qu'après 10 ans de récupération et de mise en défens, les zones nues diminuent ne représentent plus que 50 m², puis 25 m² au bout de 16 ans. Sur les parcelles de 17 et de 20 ans on observe une disparition presque totale des zones nues en fin de saison des pluies. Toutefois même si l'âge a un effet visible sur l'évolution de la couverture végétale, il n'est pas cependant le seul facteur primordial pour le maintien et l'évolution des ligneux. Les modes de gestion des parcelles et les facteurs climatiques et édaphiques ont aussi un rôle essentiel dans cette évolution de la végétation

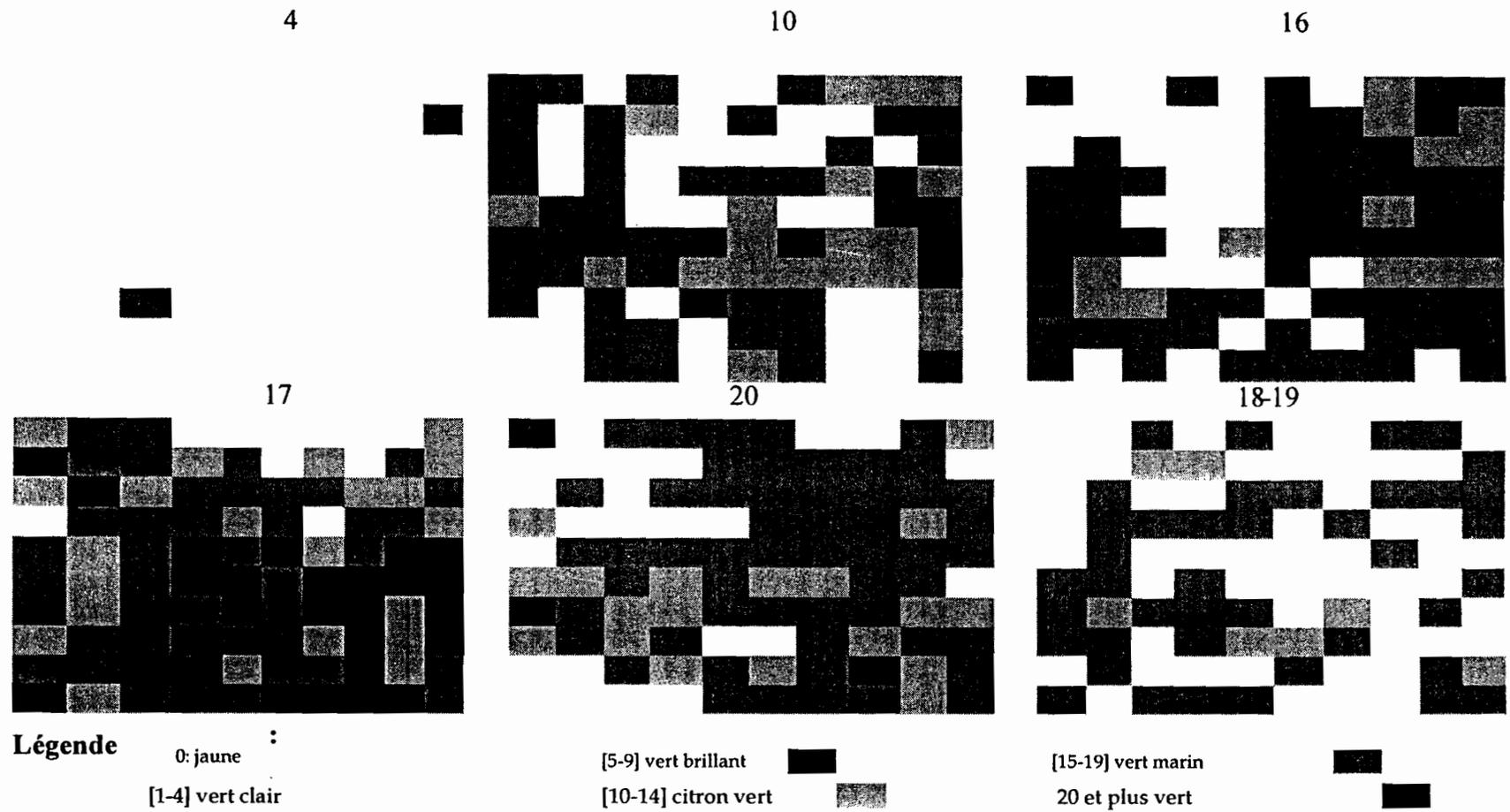


Figure 14 : Répartition spatiale des densités des ligneux par sous-parcelles et quadrats de 25 m² dans les parcelles de zai

3.6. Régénération et mortalité des plantules

3.6.1. Appréciation générale de la régénération de la strate 1

Le tableau 7 donne le nombre de plantules ainsi que le taux de régénération dans les différents peuplements de zaï forestier. Dans l'ensemble la régénération est abondante avec des taux de régénération compris entre 50 et 100 %. Les différents passages ont eu lieu en septembre 2002 pour le premier passage et en mars 2003 pour le second passage.

Tableau VII : Régénération des peuplements ligneux dans les parcelles de zaï forestier

	Nombre total d'individus adultes dans la parcelle de zaï	Nombre de recrues		Taux de régénération	
		Premier passage	Deuxième passage	Saison pluvieuse	Saison sèche
Zaï 4 ans	121	1000	627	88.73 %	83.32 %
Zaï 10 ans	740	2045	933	73.42 %	55.76 %
Zaï 16 ans	756	2216	929	74.56 %	55.13 %
Zaï 17 ans	1378	5233	1693	79.15 %	55.12 %
Zaï 20 ans	772	9666	3642	92.6 %	82.51 %
Zaï 18-19 ans	513	3858	936	88.26 %	64.59 %

3.6.2. Mortalité des plantules

Le tableau 8 donne le nombre de plantules ayant disparu durant la période sèche, entre nos deux campagnes de mesures. Cette proportion des plantules mortes permet de déterminer un taux de mortalité pour les différentes parcelles de zaï.

Le taux de mortalité est calculé comme le nombre de plantules mortes par rapport au nombre total de plantules échantillonnées en saison pluvieuse.

Le zaï 18-19 ans montre une mortalité de plus des $\frac{3}{4}$ de ses plantules durant la saison sèche. Ce taux élevé est différent de celui relevé dans le zaï de 20 ans, où il n'est que de 62%. En revanche, le zaï de 4 ans présente le plus faible taux de mortalité des plantules, avec 33%. Ce faible taux trouvé dans le zaï 4, pourrait s'expliquer par le fait que 71 %, des plantules sont rencontrées à l'intérieur des poquets. Elles sont donc relativement à l'abri de la chaleur, se déshydratent moins et résistent mieux à la sécheresse.

Tableau VIII : Mortalité des plantules dans les parcelles de zaï forestier

	Nombre d'individus morts	Taux de mortalité (%)
Zaï 4 ans	373	32.7
Zaï 10 ans	1112	54.4
Zaï 16 ans	1287	58.1
Zaï 17 ans	3540	67.6
Zaï 20 ans	6024	62.32
Zaï 18-19 ans	2922	75.73

4. La strate herbacée

4.1. Structure de la végétation herbacée

4.1.1. Fréquences spécifiques

Le tableau 9 présente la fréquence spécifique et la contribution spécifique des espèces rencontrées en strate herbacée, selon l'âge des parcelles de zaï.

Ce tableau permet de reconnaître les espèces qui participent de façon significative au recouvrement et donc, qui contribuent le plus à la constitution de la phytomasse herbacée.

L'analyse des contributions spécifiques permet de déterminer les « espèces dominantes » de chaque parcelle. Nous appelons « espèces dominantes » celles dont la contribution spécifique est supérieure à 50 %. *Pennisetum pedicellatum* se présente comme l'espèce herbacée dominante sur toute l'étendue du site (tableau 9).

Tableau IX : Fréquences spécifiques (Fsi) et contributions spécifiques (Csi) des espèces herbacées

Espèces	Zaï 10		Zaï 16		Zaï 17		Zaï 20		Zaï 18-19	
	Fsi	Csi	Fsi	Csi	Fsi	Csi	Fsi	Csi	Fsi	Csi
<i>Zornia glochidiata</i>	112	0.244	37	0.096	31	0.05	44	0.078	12	0.048
<i>Pennisetum pedicellatum</i>	244	0.532	235	0.611	481	0.780	336	0.595	148	0.599
<i>Spermacoce radiatta</i>	15	0.032	27	0.07	7	0.011	6	0.01	19	0.076
<i>Spermacoce paludosa</i>	6	0.013	6	0.015			1	0.001		
<i>Spermacoce chaetocephala</i>	13	0.028	6	0.015			35	0.062		
<i>Aristida adsensionis</i>	13	0.028	3	0.007	2	0.003	7	0.012	3	0.012
<i>Achyranthes aspera</i>	6	0.013	1	0.002	1	0.001			5	0.02
<i>Eragrotis pilosa</i>	1	0.002	1	0.002	1	0.001				
<i>Peristrophe bicalyculata</i>	9	0.019	2	0.005	3	0.004	13	0.023		
<i>Schizachyrium exile</i>	6	0.013	36	0.093	18	0.029	2	0.003	37	0.149
<i>Cassia tora</i>	5	0.01	1	0.002			1	0.001		
<i>Schoenefieldia gracilis</i>	3	0.006	4	0.01	1	0.001			2	0.008
<i>Ipomoea cosmospermum</i>	1	0.002								
<i>Tephrosia mossiensis</i>	4	0.008								
<i>Leucas martinicensis</i>	3	0.006			3	0.004				
<i>Microchloa indica</i>	17	0.037	1	0.002	10	0.016			5	0.02
<i>Crotalaria mucronata</i>			1	0.002			4	0.007		
<i>Cassia nigricans</i>			2	0.005			1	0.001	2	0.008
<i>Indigofera astragalina</i>			3	0.007						
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>			6	0.015	1	0.001				
<i>Andropogon gayanus</i>			1	0.002	2	0.003	24	0.042		
<i>Polycarpaea corymbosa</i>			5	0.013						
<i>Corchorus tridens</i>			1	0.002			1	0.001		
<i>Sida alba</i>					2	0.003	5	0.008	2	0.008
<i>Triumfetta pentandra</i>					21	0.034	4	0.007	3	0.012
<i>Sporobolus granularis</i>					1	0.001			2	0.008
<i>Brachiaria lata</i>					2	0.003	1	0.001		
<i>Commelina nigriflora</i>					1	0.001				
<i>Ipomoea eriocarpa</i>					2	0.003	4	0.007		
<i>Leptadenia hastata</i>					3	0.004	10	0.017		
<i>Dicliptera verticillata</i>					3	0.004				
<i>Rotbleleia exaltata</i>							4	0.007		
<i>Tephrosia bracteolata</i>							10	0.017		
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>							6	0.01		
<i>Cymbopogon giganteus</i>							35	0.062		
<i>Polygala eriocarpa</i>							7	0.012		
<i>Wissadula amplissima</i>							1	0.001		
<i>Aspilia sp</i>							2	0.003		
<i>Fimbristylis hispidula</i>									1	0.004
<i>Pupalia lappacea</i>									6	0.024
<i>Chloris pilosa</i>					1	0.001				
<i>Spermacoce stachydea</i>					8	0.012				
<i>Brachiaria distichophylla</i>					4	0.006				
<i>Indigofera tinctoria</i>					1	0.001				
Total	458		384		616		564		247	

4.1.2. Répartition des espèces herbacées : annuelles et pérennes

Les proportions respectives de ces deux groupes d'espèces sont représentées sur le tableau 10.

Tableau X : Evolution des espèces annuelles et pérennes en fonction de l'âge du zaï

	Zaï 10	Zaï 16	Zaï 17	Zaï 20	Zaï 18-19
Espèces annuelles en %	91,3	95	85,7	79,3	85,7
Espèces pérennes en %	8,6	5	14,3	20,68	14,3

Ce tableau permet de voir que les espèces annuelles dominent toutes les parcelles du zaï forestier, quel que soit l'âge. Toutefois, on constate une augmentation de la proportion des pérennes selon l'âge de la jachère. En effet, le total des espèces pérennes, qui ne représente qu'environ 5 à 10% du total des herbacées dans les zaï de 10 et 16 ans, atteint environ 20% dans le zaï de 20 ans, ce sont principalement les espèces: *Walteria indica*, *Leptadenia hastata*, *Polygala erioptera*, *Andropogon gayanus*, *Cymbopogon giganteus*.

4.2. La biomasse herbacée

La biomasse herbacée est le résultat de la photosynthèse qui se déroule lors du cycle phénologique des espèces. Elle est exprimée en kg de matière sèche à l'hectare (kg_{MS}/ha)

4.2.1. Biomasse herbacée et taux de recouvrement

Les résultats des mesures de biomasse sont donnés dans le tableau 11 :

Tableau XI : Biomasse herbacée par hectare et taux de recouvrement moyen par 100 m²

	Parcelles de zaï				
	Zaï 10	Zaï 16	Zaï 17	Zaï 20	Zaï 18-19
Biomasse totale (kg _{MS} /ha)	504,1	370,3	825,2	429,3	146,8
Taux de recouvrement moyen (%) / 100 m ²	54,0	47,0	87,7	76,6	31,8

La biomasse produite par parcelle varie de 146.8 à 825.2 kg_{MS} / ha. Cette biomasse mesurée se relie étroitement au pourcentage de recouvrement de la strate herbacée, qui a été mesuré par ailleurs.

4.2.2. La biomasse herbacée et le type d'espèce

Le tableau 12, montre que ces espèces annuelles représentent les espèces principales du site par leur contribution à la biomasse herbacée. Les espèces pérennes par contre, ne contribuent à la production que dans le zaï de 20, dans les autres parcelles, elles sont considérées comme des espèces secondaires ou diverses.

Tableau XII : Biomasse moyenne (g de matière sèche) de quelques espèces herbacées par 100 m², selon le type, annuel ou pérenne

Type	Espèces	Zaï 10	Zaï 16	Zaï 17	Zaï 20	Zaï 18-19
Annuel	<i>Pennisetum pedicellatum</i>	292,2	198,5	536,64	337,97	95
	<i>Zornia glochidiata</i>	15,9	0,81	3,94	4,12	0,9
Pérenne	<i>Andropogon gayanus</i>	-	-	-	10,07	-
	<i>Cymbopogon giganteus</i>	-	-	-	22,40	-

4.3. Evolution de la fréquence de certaines espèces herbacées

La figure 15 présente l'évolution de la fréquence des espèces herbacées principales échantillonnées sur l'ensemble des parcelles étudiées.

Les deux espèces, *Pennisetum pedicellatum* et *Zornia glochidiata* sont dominantes sur tout le site et apportent une forte contribution à la biomasse herbacée totale. Les autres espèces, dont les fréquences sont nettement inférieures, ne présentent pas de différences significatives d'évolution entre elles.

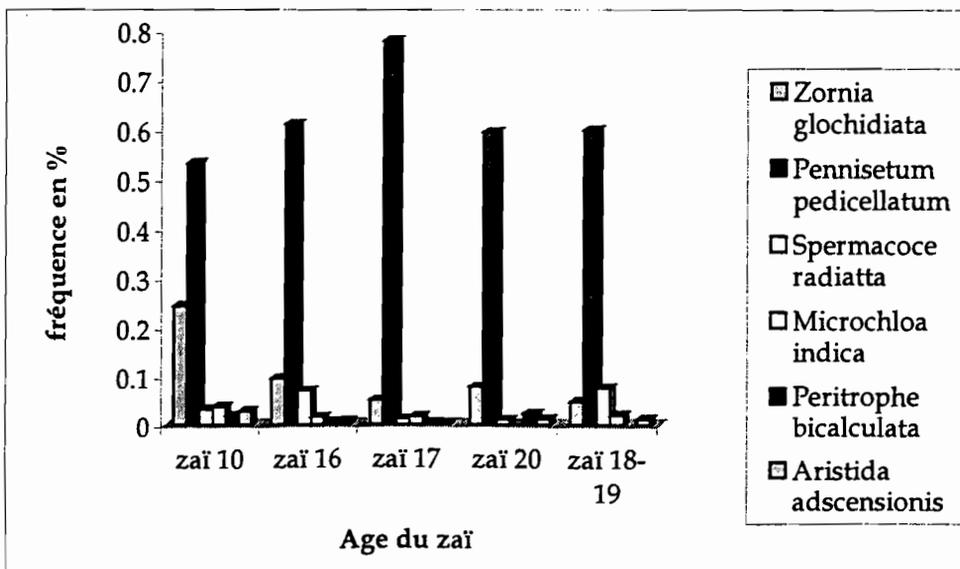


Figure 15: Evolution des principales espèces herbacées

5. Interactions entre les composantes biologiques du zaï forestier

5.1. Diversité et structure des peuplements de termites

Les termites, par leur diversité, leur abondance et l'ampleur de leurs activités (récolte de nourriture, transferts de sols, remaniements des horizons et accumulation de nutriments), caractérisent l'évolution des systèmes zaï selon leur âge.

D'autre part, les termites interviennent dans ces systèmes zaï pour modifier et redistribuer les flux de matériaux et les flux hydriques et influencer indirectement la structure spatiale et la dynamique de la végétation (Ouédraogo, 1997). En raison de leur position et des rôles qu'ils peuvent jouer, ils peuvent être considérés à la fois comme indicateurs de l'évolution du milieu et comme acteurs de cette évolution.

5.1.1. Distribution des termitières

Le tableau 13 présente l'abondance des termitières pour les trois genres identifiés et leur état en fonction de l'âge des zaï forestiers. Il donne le nombre de nids, occupés ou abandonnés, par genre.

Tableau XIII : Densité des termitières dans les différentes parcelles de zaï forestier de 2500 m²

Genre	<i>Macrotermes</i>		<i>Cubitermes</i>		<i>Trinervitermes</i>		nombre de nids total par zaï
	Vivants	Morts	Vivants	Morts	Vivants	Morts	
zaï 4	0	0	0	0	0	0	0
zaï 10	0	0	0	0	10	0	10
zaï 16	2	0	3	0	5	2	12
zaï 17	0	0	0	0	31	2	33
zaï 18-19	1	0	6	0	5	1	13
zaï 20	3	0	0	1	47	4	55
Total par genre et par Etat	6	0	9	1	97	10	123

L'examen de ce tableau montre, en ce qui concerne les nids vivants, que le genre *Trinervitermes* occupe 97 des 112 nids. Les nids des genres *Macrotermes* et *Cubitermes* sont

beaucoup plus rares. C'est dans le zaï de 20 ans que les termitières de *Trinervitermes* sont les plus abondantes.

5.1.2. Evolution de la densité des termitières

La figure 16 montre l'évolution des nids épigés de termitières, en fonction de l'âge. Elle montre que le nombre de termitières épigées augmente après l'arrêt du travail du sol.

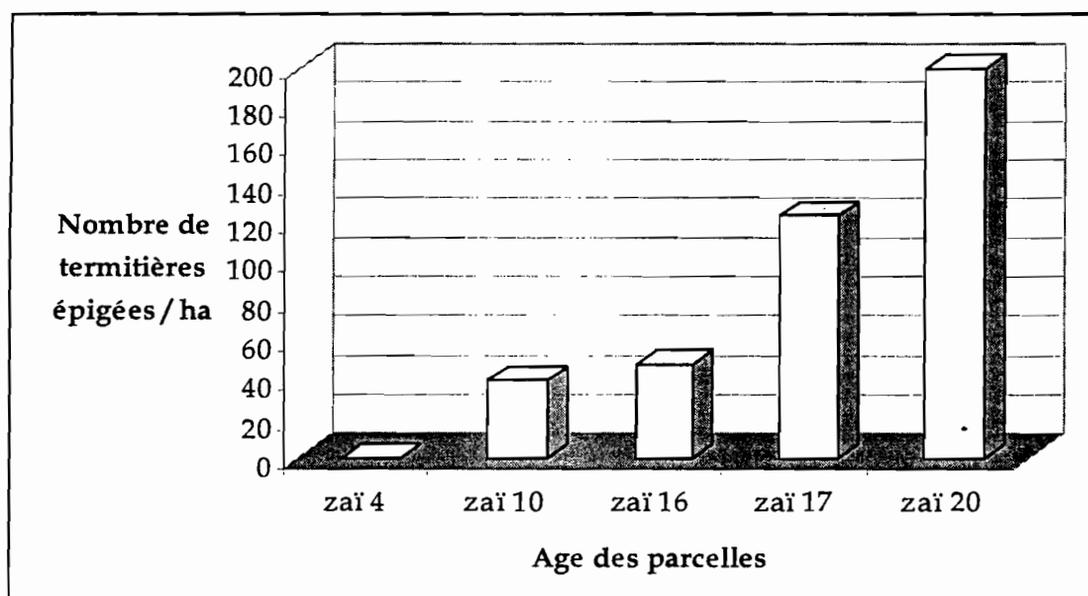


Figure 16: Evolution des densités de termitières en fonction de l'âge du zaï

5.1.3. Surfaces et volumes des nids

En extrapolant le volume de chaque nid à un volume simple selon ce qui avait été fait par de nombreux auteurs, nous pouvons calculer les volumes représentés par les termitières.

Le tableau 13 nous donne, selon le nombre de nids de *Trinervitermes*, les surfaces basales et les volumes moyens ainsi calculés.

Tableau XIV : Surfaces et volumes moyens / hectare des termitières de *Trinervitermes* en zaï forestier

	Zaï 10	Zaï 16	Zaï 17	Zaï 20	Zaï 18-19
Nombre de nids de <i>Trinervitermes</i> / ha	40	16	124	188	20
Surface basale moyenne de nid / m ²	11 10 ⁻²	34.8 10 ⁻²	20.2 10 ⁻²	12.3 10 ⁻²	16.1 10 ⁻²
Volume moyen de nid / m ³	22.1 10 ⁻²	92 10 ⁻²	48.4 10 ⁻²	28 .10 ⁻²	29.2 10 ⁻²

La surface basale moyenne et le volume moyen des nids au niveau de la parcelle de 20 ans est relativement faible, cette valeur s'explique par la jeunesse des nids trouvés contrairement aux autres parcelles qui ont des nids relativement grands et volumineux avec une faible fréquence.

5.2. Analyse en Composantes Principales

L'ACP (Analyse en Composantes Principales) permet de résumer la variabilité des paramètres que nous avons recueillis au cours de cette étude. Cette analyse permet de dégager les relations entre les variables biologiques utilisées dans les différentes parcelles de zaï.

5.2.1. Variables mesurées

Nous avons utilisé cette ACP afin de dégager les principaux traits des interactions entre les composantes biologiques suivies dans les différents zaï au cours de cette étude. La sous-parcelle de 100 m² est l'unité d'échantillonnage. Nous utilisons les résultats obtenus dans les zaï de 10, 16, 17, 20 et 18-19 ans. Dans chaque parcelle, nous ne pouvons disposer que des sous-parcelles où nous avons relevé l'ensemble des variables relatives à la strate ligneuse, à la strate herbacée et aux termites et à leur activité, c'est-à-dire les sous-parcelles 2-4-6-8-10-12-14-16-18-20-22-24. Nous avons donc $5 \times 12 = 60$ unités d'échantillonnage.

Les variables mesurées sont relatives :

- à la strate ligneuse :
 - DLi : nombre d'individus ligneux (par 100 m²)
 - SpL : nombre d'espèces ligneuses (par 100 m²)
 - ST : surface terrière (par 100 m²)
 - DPl : nombre de plantules de ligneux (par 100 m²)
- à la strate herbacée :
 - SpH : nombre d'espèces herbacées (par 100 m²)
 - BH : biomasse herbacée (par m²)
 - RH : recouvrement herbacé (en pourcentage)
- au sol : comme nos échantillons de sol n'ont pas été traités dans le temps imparti pour ce diplôme, nous ne disposons, pour chaque sous-parcelle de 100 m², que du pourcentage en poids de gravillons (> 2 mm) par rapport au poids total du sol prélevé entre 0 et 20 cm (noté : % Grav)

- aux termites :

- Dte : nombre de termitières (par 100 m²)
- Ste : surface au sol des termitières (par 100 m²)
- Vte : volume au dessus du sol (par 100 m²)
- en outre, mais seulement pour les parcelles de zaï 10, 16 et 20 ans, nous avons utilisé les premiers résultats obtenus par un autre stagiaire, Frédéric David, sur l'activité de récolte des termites dans les sous-parcelles de 100 m²

:

- %Pl : surface couverte par les placages de récolte (en pourcentage)
- Trous : nombre de trous de récolte (moyenne par m²)

Pour cette analyse, nous disposons de $3 \times 12 = 36$ unités d'échantillonnage.

5.2.2. Corrélations entre les variables

La matrice des corrélations est exposée dans le tableau 15.

Tableau XV : coefficients de corrélation entre les variables utilisées

	BH	RH	SpH	SpL	ST	DPI	Dli	% Grav
BH	1	0,674	0,041	0,185	0,064	0,069	0,328	-0,258
RH		1	0,284	0,548	0,259	0,359	0,487	-0,443
SpH			1	0,436	0,093	0,092	0,060	-0,098
SpL				1	0,533	0,437	0,381	-0,253
ST					1	0,171	0,529	-0,256
DPI						1	0,172	-0,133
Dli							1	-0,195
% Grav								1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil $\alpha=0,050$ (Test bilatéral)

Nous constatons sur ce tableau que la variable relative au recouvrement herbacé est un descripteur intéressant de l'évolution du milieu zaï forestier car elle est corrélée, avec une probabilité supérieure à 95%, à l'ensemble des autres variables mesurées, notamment avec la densité des ligneux et le nombre d'espèces ligneuses. Bien évidemment, la plus forte corrélation se situe entre la biomasse et le recouvrement herbacé. La biomasse herbacée, pour sa part, est corrélée avec la densité des ligneux mais pas du tout avec la surface terrière ni avec la densité des plantules ou le nombre d'espèces herbacées.

Ce nombre d'espèces herbacées, dont nous avons vu précédemment qu'il ne constituait pas un critère utile de l'évolution du système zaï, est uniquement corrélé significativement avec le nombre d'espèces ligneuses et bien sûr, avec le recouvrement herbacé.

La densité des plantules de ligneux est essentiellement corrélée avec le nombre d'espèces ligneuses et avec le recouvrement herbacé, sans corrélations significatives ni avec la biomasse herbacée, ni avec la densité des ligneux ou avec la surface terrière.

La seule variable « sol » dont nous disposons, le pourcentage de gravillons dans les horizons de surface, est relié négativement à toutes les autres variables mesurées, mais ces corrélations ne sont significatives au seuil de 5% que pour le recouvrement et la biomasse herbacée et pour la surface terrière des ligneux.

5.2.3. Représentation des variables selon les axes principaux

Dans un premier temps nous avons effectué l'ACP uniquement avec les variables relatives à la description du milieu, c'est-à-dire les variables sol et végétation. Les résultats sont présentés sur les figures 17a (axes F1 et F2) et 16b (axes F1 et F3).

L'axe 1 permet d'expliquer 38,88 % de la variance, l'axe 2 en explique 15,46 % et l'axe 3, 13,47 %, soit 67,81 % de la variance expliquée par ces 3 axes principaux.

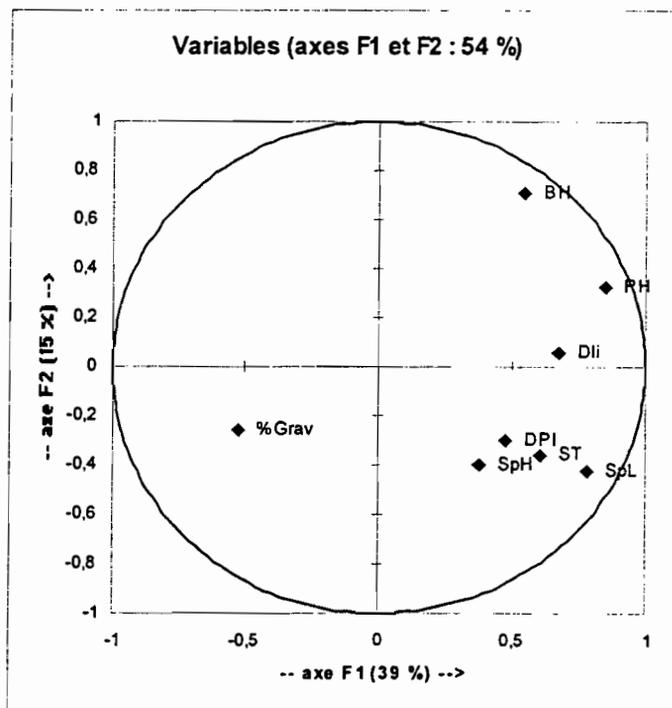


Figure 17a : Position des descripteurs par rapport aux composantes principales F1 et F2

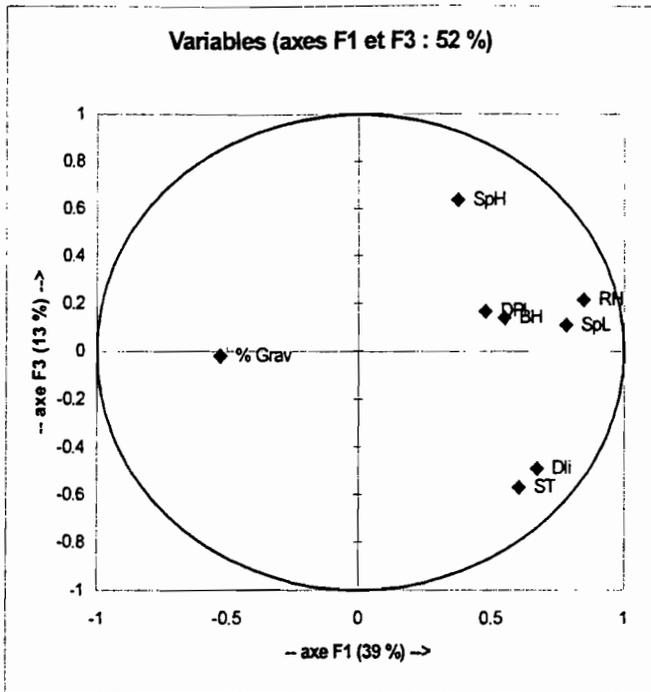


Figure 17b : Position des descripteurs par rapport aux composantes principales F1 et F3

Les variables qui contribuent le plus fortement à l'axe F1 sont : le recouvrement herbacé (à hauteur de 23,3%), le nombre d'espèces ligneuses (19,8%) et la densité des ligneux (14,6%). Ces 3 variables à elles seules contribuent pour près de 60% à cet axe F1

La variable qui contribue à définir l'axe F2 est essentiellement la biomasse herbacée (à hauteur de 40,7%). Quant à l'axe F3, le nombre d'espèces herbacées y contribue pour 37,4% et la surface terrière des ligneux pour 30,3%, soit près de 70% au total pour ces deux variables. Les autres axes F4 et F5 (qui représentent respectivement 11,1 et 10,1% de la variabilité) sont définis majoritairement par une seule variable : la densité des plantules de ligneux (à hauteur de 68,3%) pour F4 et le pourcentage de gravillons (à hauteur de 78,2%) pour F5.

5.2.4. Projection des individus (sous-parcelles) selon les axes principaux

La figure 18 situe les différents échantillons constitués par les sous-parcelles de 100 m² dans l'espace à deux dimensions défini par les axes F1 et F2.

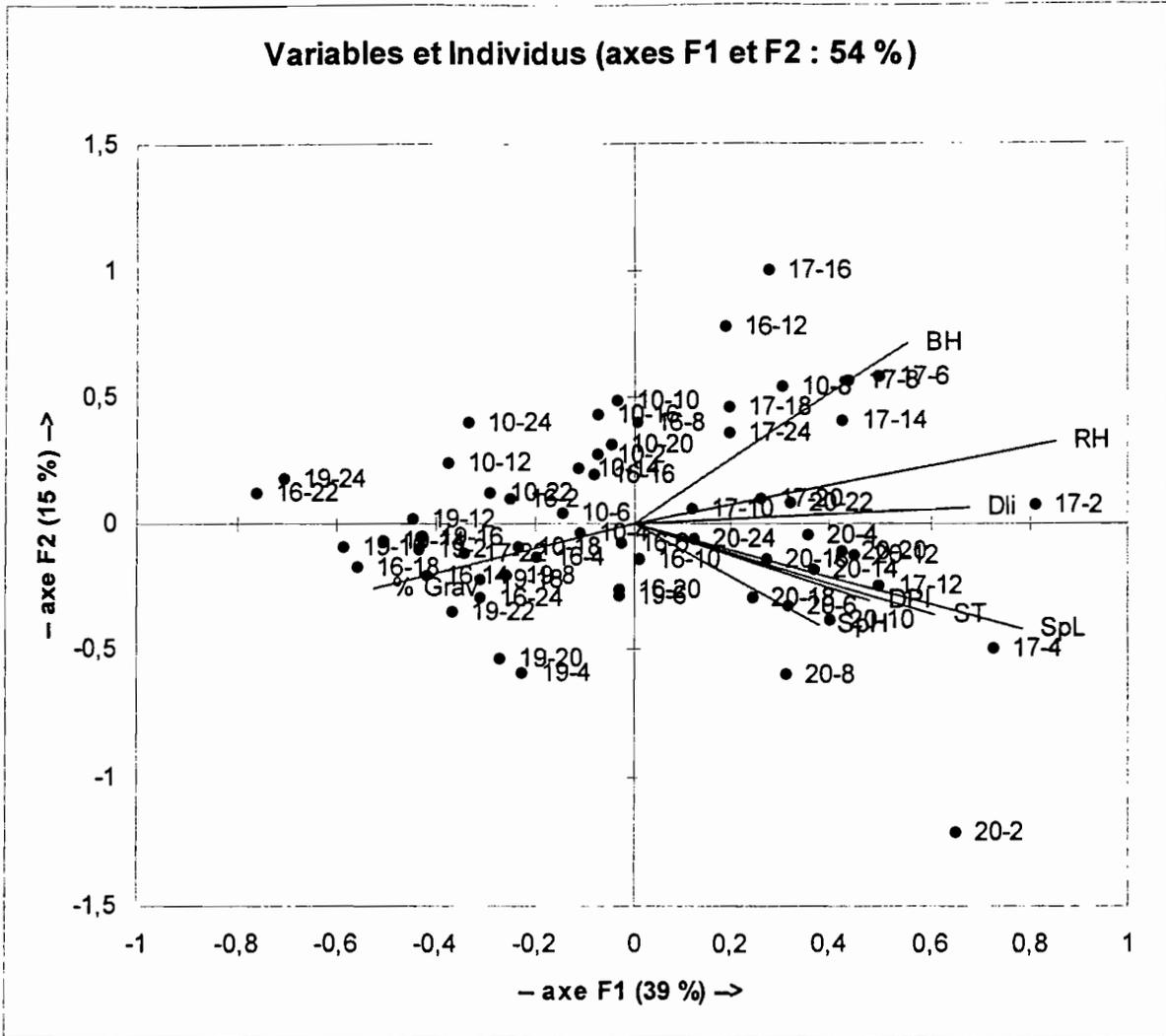


Figure 18 : Projection des individus et des variables selon le plan F1, F2

Cette projection oppose, selon l'axe 1, les sous-parcelles caractérisées par un fort recouvrement herbacé, une diversité ligneuse élevée et une densité des ligneux relativement forte, aux sous-parcelles qui possèdent un recouvrement herbacé faible et une faible densité des ligneux, ainsi qu'un fort pourcentage de gravillons dans l'horizon de surface. La première catégorie concerne surtout les sous-parcelles situées dans les zaï de 17 et de 20 ans. La seconde catégorie concerne les parcelles du zaï de 18-19 ans. Quant aux sous-parcelles des zaï de 10 et 16 ans, elles montrent une grande hétérogénéité caractérisée par leurs positions intermédiaires.

L'axe 2 oppose les parcelles caractérisées par une forte biomasse herbacée à celles présentant une biomasse moindre, que cette différence soit liée à des propriétés différentes de l'environnement, ou la conséquence d'une augmentation importante de la strate ligneuse qui influencerait négativement sur la strate herbacée (ce qui est le cas de la majorité de sous-parcelles du zaï de 20 ans). Ces dernières sous-parcelles sont également caractérisées par une plus forte diversité des ligneux.

5.2.5. Corrélation des variables liées à l'activité des termites

Nous avons également réalisé des ACP en incorporant les variables relatives aux termites : la construction des termitières et l'activité de récolte. Sur l'ensemble des 60 sous-parcelles de 100 m², on constate que ces variables liées aux termites sont, bien évidemment, fortement corrélées entre elles (notamment entre la surface basale et le volume des termitières), mais aussi aux variables du milieu représentées par le recouvrement herbacé ($r = + 0,365$ pour la densité des termitières), le nombre d'espèces ligneuses ($r = + 0,371$) et la densité des ligneux ($r = + 0,350$), c'est-à-dire les variables qui contribuent essentiellement à la définition de l'axe principal F1. La surface terrière semble une variable intéressante pour les surfaces basales ($r = + 0,301$) et les volumes des termitières ($r = + 0,330$), alors que la densité des nids n'est pas significativement reliée à ces deux variables.

L'ACP réalisé avec toutes les variables disponibles de l'activité des termites (mais avec 36 échantillons seulement) nous donne sensiblement les mêmes informations. La densité des termitières est nettement corrélée au nombre d'espèces de ligneux ($r = + 0,546$) et, dans un degré moindre, avec le nombre d'espèces herbacées ($r = + 0,342$) ainsi qu'avec la surface terrière des ligneux ($r = + 0,593$). Le volume total des termitières par 100 m² est également corrélé à la surface terrière ($r = + 0,369$).

Le pourcentage occupé par les placages de récolte à la surface du sol montre une corrélation significative avec les variables du recouvrement herbacé ($r = + 0,508$), du nombre d'espèces ligneuses ($r = + 0,555$), de la surface terrière ($r = + 0,371$) et avec la densité des plantules ($r = + 0,610$). Quant au nombre de trous de récolte par m², qui est une donnée importante lorsqu'on connaît le rôle de ces structures sur l'infiltration des pluies, il est uniquement corrélé de façon significative avec le recouvrement herbacé ($r = + 0,422$).

Chapitre V - Discussion

Le but de ce travail était de préciser l'évolution de la diversité biologique et l'action des termites dans le système zaï forestier, selon l'âge des parcelles de zaï forestier.

L'évolution de ce système avait déjà été étudiée par plusieurs auteurs (Roose, 1992 ; Roose *et al.*, 1994 ; Hien, 1995 ; Kaboré, 1995 ; Ronan, 1997 ; Ricard, 2000 ; Sangaré, 2002), mais ces auteurs ont limité leur étude à l'illustration de la reprise de la végétation sur les sols dénudés et dégradés, suite à des aménagements agro-pédologiques et n'ont pas suivi précisément la reconstitution végétale du milieu.

1. La diversité végétale et la dynamique successionnelle

Il s'agit de mettre en évidence l'évolution spatio-temporelle des composantes biologiques dans le milieu réhabilité.

1.1. Diversité floristique des parcelles

La végétation de la zone d'étude présente une diversification notable de sa composition floristique : 104 espèces végétales ont été recensées au total, soit 54 espèces ligneuses et 50 espèces herbacées. Zombré *et al.* (1999) avaient trouvé 62 espèces sur des parcelles aménagées en zaï et en 2002, Sangaré comptait 56 espèces végétales sur des parcelles de zaï agricole, dans la même zone agro-climatique. Nos valeurs sont supérieures, car nous avons délibérément choisi d'étudier des parcelles en régénération d'âges différents et également en raison du fait que les parcelles de zaï qui font l'objet du présent mémoire ont bénéficié de la régénération assistée par l'introduction d'espèces locales et exogènes et ont été mises en défens par le paysan.

1.2. Evolution de la diversité

Le nombre d'espèces semble être en relation avec l'âge des parcelles, pour la strate ligneuse : la parcelle la plus jeune (4 ans) est encore en exploitation agricole et elle compte le plus faible nombre d'espèces (22). La parcelle la plus âgée (20 ans) se présente comme le milieu le plus

diversifié (40 espèces). Nos observations concordent avec celles effectuées par Hien (1995) et Somé (1996), au cours de leurs travaux. Pour ces auteurs cette diversification de la composition des espèces s'expliquerait par le phénomène de la succession floristique. Les premières années après aménagement, on aurait l'apparition d'un petit nombre d'espèces, avec une grande fréquence. Puis, au fil des années, on observerait une certaine évolution floristique qui se manifesterait par l'apparition d'un grand nombre d'espèces à fréquences réduites. Cette instabilité floristique interviendrait entre 3 et 4 ans après l'aménagement. La stabilité du peuplement floristique n'interviendrait qu'à partir de 9 à 10 ans après l'abandon en jachère de la parcelle, soit 12 à 15 ans après la récupération d'une zone dénudée.

Cette instabilité soulignée par ces auteurs serait surtout remarquable au niveau de la strate ligneuse encore en pleine croissance, ce qui est visible d'après les résultats obtenus dans ce travail (figure 9a). En revanche, la strate herbacée présenterait une certaine stabilité de sa composition floristique, ce qui est bien visible sur la figure 9b dans notre travail, ne laissant pas apparaître une véritable dynamique successionnelle.

1.3. Herbacées pérennes et annuelles

Nos résultats montrent que plus de 75 % de la couverture herbacée est constituée d'espèces annuelles (tableau 11). Leur écologie indique que ce sont des plantes aptes à produire beaucoup de graines et donc d'envahir le milieu. Elles sont très peu exigeantes en éléments nutritifs (Le Bourgeois T. et Merlier, 1995).

Donfack (1998) remarque que les zones sèches se caractérisent par l'abondance des herbacées annuelles, la rareté des herbes pérennes et l'abondance des épineux dans la strate ligneuse. Ce caractère annuel des herbacées, marqué souvent par une morphologie adaptée, correspond à un mode de fonctionnement particulier (reconstitution du tapis herbacé chaque année), et les stades d'évolution herbacée sont plus ou moins tronqués.

Grouzis (1988) fait la même observation dans son étude sur la mare d'Oursi et conclut qu'au Sahel où prédominent des herbacées annuelles, la succession est à peine visible car les espèces dominantes changent déjà d'une année à l'autre, en fonction des conditions climatiques de la saison. La succession est ainsi tronquée, les ligneux sont peu abondants ainsi que les herbacées pérennes. Fournier *et al.* (2000) dans leur analyse de la succession sur le gradient éco-climatique Ouest-africain, abordent également ce sujet et concluent dans le même sens que les deux premiers auteurs mentionnés.

Dans notre cas, deux hypothèses peuvent expliquer l'apparition des espèces exclusives dans les différentes parcelles, il s'agit :

- d'un effet sol, qui serait lié au type de terrain : structure, texture, situation (haut glacis, mi-pente etc.) et aussi lié au niveau de fertilité du sol au moment de la mise en jachère ;
- l'entretien de l'aménagement, qui occasionnerait la reprise végétale en favorisant l'infiltration et la rétention des graines végétales. Il créerait ainsi les conditions pour l'apparition et le développement de ces espèces exclusives.

Ainsi le caractère annuel, la création de conditions spontanées et le type de sol masqueraient la succession dans notre cas.

1.4. Evolution de la strate herbacée

La succession aboutirait, dans chaque région, à la mise en place comme espèces dominantes, des types biologiques et fonctionnels les mieux adaptés au milieu : arbres sciaphiles sous des climats humides ; herbes pérennes dans les savanes brûlées ; herbes annuelles dans les régions les plus sèches (Fournier *et al*, 2000). Ainsi la situation phytogéographique et climatique d'un site constitue un cadre fortement contraignant pour la végétation post-culturelle et sa dynamique ultérieure.

Nous pensons donc que le déroulement des successions est très variable et la durée même du processus de reconstruction n'est pas identique dans tous les cas. Dans notre cas, l'état de dégradation des sols mis en jachère et surtout la potentialité éco-climatique masqueraient cette évolution de la strate herbacée, c'est ce qui expliquerait sa relative stabilité.

La situation de la parcelle de 20 ans (au bas niveau de la butte cuirassé), la présence de cordons pierreux observés aurait favorisé une forte rétention de l'eau, d'où l'apparition d'une plus grande diversité. Ceci expliquerait les fortes valeurs recueillies (cf. tableau 4b et figure 9b).

1.5. Evolution de la strate ligneuse

La strate ligneuse, en revanche, à cause du temps plus long nécessaire pour sa croissance et pour que son occupation spatiale puisse s'exprimer, laisse percevoir une progression de sa densité et de sa surface terrière. Sa densité passe de 484 individus à l'ha à 1378 individus à

l'ha. Entre 4 et 20 ans cette augmentation du nombre des individus semble se faire dans le sens de la durée de la mise au repos. C'est dans le même sens qu'évolue la surface terrière des ligneux, qui passe de $0.44 \text{ m}^2 / \text{ha}$ à $11.32 \text{ m}^2 / \text{ha}$. La taille moyenne des individus passe de 103.47 à 230.09 cm pour les zaï de 4 et de 20 ans.

Dans l'ensemble, les valeurs de nos densités sont nettement plus élevées que celles rapportées par Grouzis (1988) pour la mare d'Oursi, soit entre 12 et 484 individus par ha, mais elles se situent dans l'intervalle des densités trouvées par Poupon (1980) dans le Ferlo sénégalais, qui évoluent de 296 individus / ha au sommet des dunes à près de 3500 individus / ha dans les dépressions.

Les valeurs des surfaces terrières des zaï forestiers trouvées sont supérieures à celles de Poupon (0.6 à $8.8 \text{ m}^2 / \text{ha}$) et à celles de Grouzis (0.62 à $3.2 \text{ m}^2 / \text{ha}$).

Nos courbes de distribution horizontale présentent toutes des concavités tournées vers le bas, ce qui signifie un mélange de peuplements pris à des stades de maturité différents. Ce résultat s'oppose à ce qui a été trouvé par Poupon (1980) pour le peuplement ligneux d'une steppe sahélienne du Ferlo sénégalais, et cela ne correspond pas également aux résultats de Grouzis pour la mare d'Oursi. Remarquons toutefois que cette différence peut s'expliquer par les différences dans les types de formations végétales étudiées. Si Grouzis et Poupon ont travaillé chacun sur des formations végétales naturelles, nos études par contre se sont déroulées sur une formation jeune et en pleine reconstitution, c'est ce qui expliquerait le mélange des maturités.

En se basant sur l'ensemble de nos résultats, nous pensons qu'il existe une tendance générale à la diversification de la composition floristique d'une part, et d'autre part l'existence d'une dynamique de succession qui s'exprime imparfaitement.

Cette évolution floristique des parcelles exploitées en zaï agricole avait été déjà soulignée par Roose (1992) et Ronan (1997). Roose observe à Gourga (notre site d'étude), qu'en 5 ans d'exploitation d'un zipellés en zaï, on obtient une association céréales et arbustes pouvant reforester les sols dégradés. Ronan constate trois types d'évolution dans le même temps :

- le premier type est l'installation d'une strate herbacée parsemée d'espèces ligneuses ;
- le second type est l'observation d'une strate ligneuse (buissonnante et arbustive) en pleine croissance ;
- l'évolution de cette strate arbustive vers une strate arborée.

Pour nous il est certain que le climat, l'état des sols lors de la mise en jachère, ainsi que le processus initial de la régénération, ont un effet sur la succession, mais il reste encore difficile de dire avec quelle hiérarchie s'organisent ces influences.

2. Emboîtement des diversités spécifiques

2.1. Physionomie et composition floristiques

La grande ressemblance de physionomie et de composition floristiques observée dans le zaï forestier (15 espèces ligneuses et 7 espèces herbacées communes à toutes les parcelles), reflète la source commune de semence végétale dont est issue la diversité biologique des parcelles. Cette flore commune est mise en évidence par les résultats de l'AFC (figures 6,7 et 8). Ainsi plusieurs espèces se retrouvent presque dans tous les peuplements. Ces espèces développent une affinité phytogéographique de type sahélien.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer l'intégration de cette diversité :

- les semences seraient présentes sur les sites avant les aménagements mais ne pouvaient germer faute de conditions favorables ;
- les semences seraient transportées sur les sites après les aménagements par divers facteurs à savoir le vent, l'eau, les animaux ou par l'homme (compost).

De nombreux auteurs ont effectivement fait mention du transport des semences par ces facteurs pour justifier la dissémination de ces espèces dans le zaï agricole et forestier (Roose *et al.*, 1990 ; Roose, 1992 ; Kaboré, 1995 ; Zombré *et al.*, 1999).

Pour ce qui est du transport par le vent ou l'eau de ruissellement, les poquets et les cordons de pierres constituent des obstacles qui retiennent les semences (Sangaré, 2002).

L'introduction des espèces par les herbivores est possible grâce à la dissémination de leurs semences contenues dans les déjections utilisées pour la fertilisation des cultures. Des auteurs comme Roose *et al.* (1995), Kaboré (1996) et Devineau (1999) ont compté de grandes quantités de semences d'espèces ligneuses et herbacées dans le fumier.

C'est ce qui explique, sur l'ensemble du site, l'abondance d'espèces à gousses (*Piliostigma reticulatum*, *Acacia spp*) au niveau de la strate ligneuse et d'espèces herbacées fourragères, telles que *Zornia gochidiata*, *Pennisetum pedicellatum* (figure 14). Toutes ces espèces végétales sont appréciées et il est fort probable que leurs semences sont contenues dans les déjections apportées pour la fertilisation des cultures.

2.2. Diversité et action des termites

Nos observations montrent un léger accroissement pour la richesse des genres de termitières (0 à 3 genres) après 16 ans de récupération, ce qui représente une diversification de leurs groupes trophiques : consommateurs de graminées (*Trinervitermes*), de litière d'origine diverse (*Macrotermes* et *Macrotermitinae*) et d'humus du sol (*Cubitermes*). On note une importante augmentation du nombre de nids épigés (figure 15), après 20 ans de récupération. Trois genres de termites ont été également trouvés par Ouédraogo (1997), dans la brousse tigrée soudano-sahélienne au Nord Yatenga.

L'analyse de l'abondance des termitières dans les différents milieux étudiés montre qu'il y a une modification du peuplement en termites par la transformation du milieu (champ de zaï en jachère de zaï).

Les termites par leur position dans le système de récupération des sols dégradés assument plusieurs fonctions (figure 19). Ils sont attirés dans les poquets de zaï par la poudrette de la matière organique, les débris organiques et les feuilles mortes.

Par leur consommation des matériaux végétaux, les termites influent sur l'alimentation minérale des sols ;

Par leurs activités de construction, et surtout de récolte, ils accroissent la porosité du sol et brisent les croûtes de surfaces. Les termites modifient ainsi les flux hydriques et augmentent l'alimentation hydrique du sol.

L'amélioration de l'alimentation hydrique et minérale du sol offre de meilleures conditions de germination et d'évolution des espèces herbacées et ligneuses. Les espèces végétales se diversifient de même que la macrofaune du sol. La zone nue, devient vivante avec un aspect verdoyant, elle est dite réhabilitée.

3. Approche fonctionnelle du système zaï forestier

3.1. Dynamique du couvert végétal

En ce qui concerne le fonctionnement du système zaï forestier, nos résultats indiquent clairement que la dynamique du couvert végétal se présente comme la résultante de la dynamique de divers flux (flux de semences végétales, flux hydriques, activités biologiques etc.), sur un sol apte à les recevoir.

Les semences doivent être présentes ou apportées après l'aménagement du sol. La redistribution de l'eau qui ruisselle doit se faire grâce à la rugosité du sol et avec l'aide des cordons pierreux. L'entretien des cordons pierreux est utile pour un maintien du couvert végétal, avec une extension des herbacées annuelles et des plantes à gousses qui sont majoritaires. Dans le cas contraire, Couteron (1997) remarque que le couvert végétal est rare et même les ligneux sont susceptibles de mourir au cours d'une année très sèche (avec moins de 200 mm de pluie).

Néanmoins, nous observons dans les endroits susceptibles de freiner le ruissellement, comme les abords des cordons pierreux, que les plantes souffrent moins de la sécheresse et, dans certains cas, ces zones favorisent le piégeage des graines et leur germination, du moins l'apparition et le développement des jeunes plants. .

Le développement et la croissance des jeunes plants sont surtout liés aux différentes activités menées à l'intérieur de la zone réhabilitée.

Si les activités pastorales et la pression humaine sont sources de disparition et de régression de cette jeune flore, sa mise en défens intégrale est efficace et permet une reconstitution du peuplement végétal par l'évolution de certains paramètres tels que l'augmentation de la diversité floristique qui regroupe la richesse spécifique, l'abondance des individus et leur répartition. L'accroissement de la production ligneuse et herbacée reflète le dynamisme et la vitesse de reconstitution de la végétation.

Cependant la réhabilitation n'est pas toujours uniforme, et des zones nues persistent. Dans ces endroits, l'apport d'une couverture de matériel organique (paille, feuilles et branches mortes), les protègent contre l'impact direct des gouttes de pluies et du soleil et permettent une action accrue de la macrofaune du sol, dont en premier lieu les termites. L'action des termites se manifeste par la perforation des croûtes et une augmentation de la porosité des couches superficielles du sol (Mando, 1997).

3.2. Schéma conceptuel de la récupération des sols dégradés

Nous pouvons essayer de bâtir un schéma conceptuel qui exprime les relations entre les différentes composantes biologiques, avec l'action de l'homme, dans le mécanisme de récupération des sols dégradés. La figure 19 présente ce schéma.

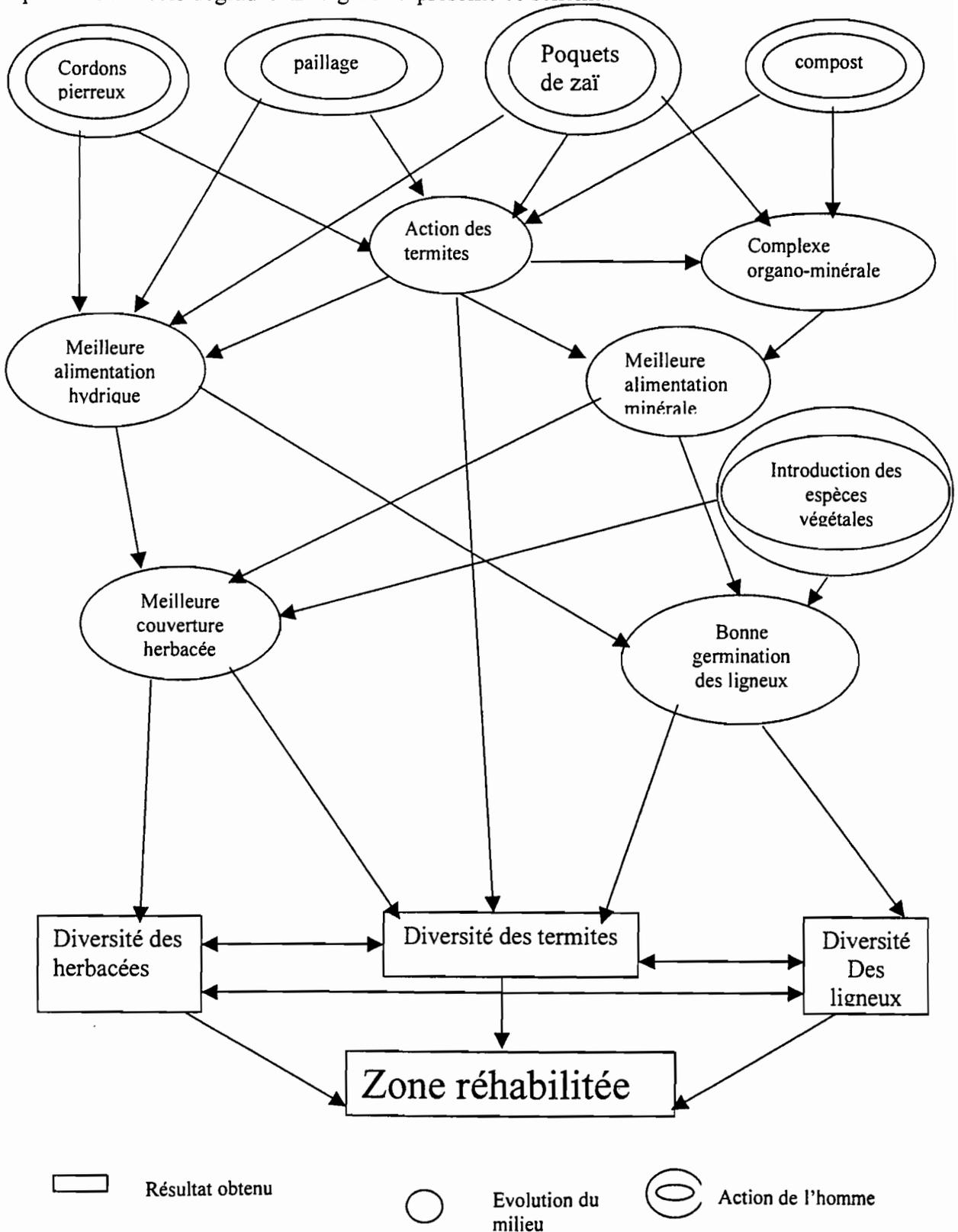


Figure 19: Mécanisme de réhabilitation des terres dégradées et dénudées

Conclusion et perspectives

Au terme de cette étude, il apparaît que la régénération végétale dépend de l'action de l'homme qui initie la recolonisation végétale par la préparation du terrain, et du processus de régénération naturelle qui se développe par la suite au cours du temps.

Ce travail mené à Gourga (au Yatenga) permet de tirer un certain nombre de tendances.

Cependant nous nous garderons de généraliser nos résultats compte tenu de la faible représentativité de notre échantillonnage.

Il apparaît, à partir de nos résultats, que :

- les listes floristiques des espèces ligneuses et herbacées des différentes parcelles de zaï forestiers sont bien diversifiées, mais elles présentent ensemble une grande similitude, ce qui implique que les espèces végétales sont issues d'une même source de semences ;
- l'évolution de la strate ligneuse des parcelles de zaï forestier protégé laisse présumer trois stades :
 - le premier type est l'installation d'une strate herbacée parsemée d'espèces ligneuses ;
 - le second type est l'observation d'une strate ligneuse (buissonnante et arbustive) en pleine croissance ;
 - le troisième type est l'évolution de cette strate arbustive vers une strate arborée.

Cette succession ligneuse n'est assurément pas terminée, car les jeunes ligneux, abondants, sont en plein développement. La progression de la diversité et de la production ligneuse nous fait penser que ces unités de végétation évoluent vers des formations de types savanes arborées.

- L'évolution de la strate herbacée, dans sa succession, aboutit à des unités de végétation dominées par des herbacées annuelles locales. Ce caractère annuel masquerait les stades de son évolution.

- L'évolution des communautés végétales est très souvent accompagnée par une modification du milieu, grâce à l'activité permanente des termites (activité de construction et

de récolte) qui contribue à briser la couche superficielle, à augmenter l'alimentation hydrique et à remonter des matériaux capables d'enrichir le sol en nutriments. Cette activité modifierait profondément la pédogenèse et serait capable de créer de véritables sols néogènes et influencer ainsi la dynamique des milieux (Ouédraogo, 1997).

Pour mieux caractériser le milieu édaphique du zaï forestier, il sera indispensable de compléter cette étude par une caractérisation agro-pédologique des parcelles de zaï étudiées, afin de voir si l'évolution végétale constatée se traduit, en parallèle par une évolution favorable des paramètres de la fertilité de ces sols.

En outre on pourrait mieux préciser les relations entre les différents éléments biologiques étudiés. A savoir, les relations entre termitières – strate herbacée, termitières - strate ligneuse et enfin strate herbacée – strate ligneuse.

Mais nous retenons de cette étude que l'on peut régénérer une formation naturelle même sur un sol totalement dégradé. Dans ce sens nous formulons donc deux recommandations en vue de la gestion des sols dégradés, de l'utilisation et du rôle du zaï forestier et enfin une étude sur la valeur socio-économique du travail fait et les différentes potentialités de développement.

• La gestion des sols dégradés

Les sols dégradés présentent de sérieux problèmes pour le maintien de la production des cultures, le pâturage et la régénération de la végétation naturelle. Face à ces problèmes, l'agriculteur sahélien peut adopter deux modes de gestion du sol, soit prévenir la dégradation, soit réparer ses effets et conséquences. Nous remarquons que les opérations de travail du sol ne devraient pas toutefois être perçues comme des activités séparées mais combinées à d'autres mesures (Conservation des eaux et des sols).

▪ Le remède préventif consisterait :

- ❖ à créer un taux d'infiltration élevé, par un labour profond associé à des ouvrages anti-érosifs ;
- ❖ à maintenir les agrégats de la couche supérieure humide, par un paillage ;
- ❖ à éviter la compaction du sol, par des bandes de circulation

▪ Le remède curatif consisterait :

- ❖ à ameublir et à désagréger la couche imperméable du sol, par un travail intensif du sol ;
- ❖ à arrêter le ruissellement tout en favorisant son infiltration ;

Cette dernière option de la gestion des sols demeure un principe de base pour toute réhabilitation des sols dégradés : les causes qui ont amené la dégradation doivent obligatoirement être interrompues ou du moins amoindries, puis la gestion doit être rationalisée, sinon il ne peut y avoir de régénération ni de réhabilitation durables.

Ainsi si l'homme sahélien veut inscrire son agriculture et son environnement dans une dynamique de diversification et de durabilité, il doit d'abord et surtout remédier au phénomène de dégradation de ses sols. Le renforcement de la complémentarité entre l'agriculture et l'élevage peut fortement y contribuer pour aboutir à des solutions alternatives endogènes.

• **Rôle et utilisation du système zaï forestier**

Dans l'état actuel de dégradation de l'environnement au Yatenga, les processus de régénération naturelle demanderaient des centaines d'années pour se réaliser sans intervention humaine (Hien, 1995).

Mais en se basant sur les connaissances acquises du système zaï forestier, de sa dynamique et du rôle des termites dans l'évolution de ce système, nos résultats montrent clairement l'importance que pourrait revêtir une telle technique pour les populations rurales.

Son rôle serait de permettre la possibilité de régénération des espaces dégradés grâce à la dissémination des semences contenues dans les déjections des animaux, dans l'eau de ruissellement et par le vent, d'une part, et d'autres part de relancer la jachère tout en apportant une solution alternative à la question énergétique, par l'apport de bois de feu.

Son utilisation reste soumise à la détention de surfaces de terres suffisantes par quelques paysans convaincus et inovateurs.

Notre travail reste incomplet et il est clair qu'il faut continuer plus les recherches dans ce domaine, mieux situer le rôle et la durabilité de l'activité termitique et parallèlement la modification du milieu. Nous n'en avons seulement ébauché que quelques aspects. Mais il est sûr, que dans le contexte actuel auquel les pays sahéliens sont confrontés, on ne peut se permettre de négliger un quelconque facteur favorable à la restauration des sols et à la reconstitution des écosystèmes dégradés.

BIBLIOGRAPHIE

- Achard F. ; Hiernaux P. ; Banoin M., 2001. Les jachères fourragères naturelles et améliorées en Afrique de l'Ouest, In : *La jachère en Afrique Tropicale*, vol 2, Ed. John Libbey Eurotext, Paris, pp 201-239.
- Abbadie L. et M. Lepage, 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.
- Akpo L.E., Grouzis M., Bada F., Pontanier R., Floret C., 1999. Effet du couvert ligneux sur la structure de la végétation herbacée de jachères soudaniennes. *Cahiers Sécheresse*, 10 (4) : 253-261.
- Ambouta J.M., Moussa I.B & S. D. Ousmane 1999. Réhabilitation de la jachère dégradée par les techniques de paillage et du zaï au sahel. In : *La jachère en Afrique tropicale*, vol 2, pp 351-376.
- Arbonnier M., 2000. *Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest*. CIRAD-MNHN. Montpellier, 539p.
- Bachelier G., 1978. *La faune des sols, son écologie et son action*. ORSTOM Bondy, Documents techniques 38, 391 pp.
- Bachelier G., 1963. *La vie animale dans les sols*. ORSTOM, Paris, 279 p.
- Barbault R., 1995. *Ecologie des peuplements, structure et dynamique de la biodiversité*. Masson, Paris, 273 p.
- Balent G., 1986. The influence of grazing on the evolution of botanical composition of previously cultivated fields. The example of the Pyrenees. Pp. 28-29 in Joss P.J., Lynch P.W., Williams O.B., éd., *Range lands: a resource under siege*. Proceedings of the Second International Rangeland Congress. 634 p.

- Bodines M.C. et Veckert D.N., 1975. Effet of desert termites on herbage and litter in a shortgreen ecosystem in West Texas. *Journal of Range Management*, 28 (5) : 13-15.
- Boudet G., 1984. *Manuel sur les pâturages des tropicaux et cultures fourragères*. Ministère des relations extérieures. Coopération et Développement, 226 p.
- Boudet G., 1991. *Pâturage tropicaux et les cultures fourragères*. ORSTOM, IEMVT, 266 p.
- Black H.I.J. et M.J.N. Okwakol, 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agrosystem function in the tropics: the role of termites. *Applied soil Ecology*, 6:37-53.
- Blondel J., 2000. *Biogéographie, approche écologique et évolutive*. Collection écologique n°27, Masson, Paris, 297 p.
- Bignell D.E et P. Eggleton., 2000. Termites in ecosystems. In : *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology* (T. Abe, DE Bignell and M. Higashi, eds). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 363-387.
- Boulet R., 1968. *Etude pédologique de la Haute Volta : région du Centre-Nord*. ORSTOM, Dakar-Hann, 341 p.
- Boyer P., 1982. Quelques aspects de l'action des termites du sol sur les argiles. *Clay Minerals*, 17 : 453-462.
- Clements F., 1916. *Plants succession: analysis of the developpment of vegetation*. Washington DC, Carneige Institution, 242: 1-512.
- Couteron P., 1997. Contraction du couvert végétal et sécheresse : l'exemple au Nord-Ouest du Burkina, In *Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contrastés sahéliens* J.M d'Herbès ; J.M.K. Amboutta & R Peltier eds., pp 69-79.
- Cowles H.C., 1901. The physiographic ecology of Chicago and vicinity, study of the origin, development, and classification of plant societies. *Botanical Gazette*, 13 : 1-55.
- 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 d'étude, IDR, 84 p.
- Daget P., et Poissonnet J., 1971. Méthode d'analyse de la végétation des pâturages, critères d'application. *Ann. Agro.*, 22 (1) : 5-41.

- Diatta M et Faye E. (1997). Effets de quelques années de protection sur la jachère en zone Sahélo-Soudanienne du Sénégal : structure et production primaire. In Floret (éd.), pp. 33-40.
- Devineau J.L., 1975. *Etude quantitative des forêts galeries de Lamto (Côte d'Ivoire)*. Thèse 3^{ème} cycle, Botanique Tropicale, Université Paris IV, 190 p.
- Devineau J.L., 1999. Rôle du bétail dans le cycle culture-jachère en région soudanienne : la dissémination d'espèces végétales colonisatrices d'espaces ouverts (Bondoukuy, Sud-Ouest du Burkina-Faso), *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, 2 :1-25.
- Donfack P., 1998. *Végétation des jachères du Nord Cameroun, typologie, diversité, dynamique, production*. Thèse de doct. Etat, Sciences de la nature, Univ. de Yaoundé-I, Faculté des Sciences, 225 p.
- Dugué P. et Yung J.M., 1992. Reconstruction de la fertilité au Yatenga (Burkina Faso) dans le développement agricole au sahel. *Tome III, Terrains et innovations*. Collection documents systèmes agraires CIRAD, 17 : 45-61.
- Eschenbrenner V., 1988. Contribution des termites à la microagrégation des sols tropicaux. *Cahiers ORSTOM. Série Pédologie*, 22, (4): 397-408.
- Fournier A., Floret C., Gnahoua G.M., 2000. Végétation des jachères et succession post-culturelle en Afrique tropicale. In *La jachère en Afrique tropicale*, Ch. Floret, R. Pontanier. Ed. John Libbey Eurotext, Paris, pp.123-168.
- Fontes.J et Guinko. Sita.,1995. *Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso*. Ministère de la Coopération Française. Projet Campus, Toulouse, France, 67p.
- Fornage, 1993. *Enjeux et possibilités de l'intensification agricole au Nord Yatenga. Dossier de synthèse*. B. RD/CRPA/N-PVNH, Burkina Faso, 75 p.
- Garnier-Sillam E. ; Renoux J. ; Toutain F., 1986. Les composés humiques des termitières de *Thoracotermes macrothorax* et de *Macrotermes muelleri*. *Soil. Biol. Biochem*, 21: 499-505.
- Garnier-sillam E. ; Toutain F.; Renoux J., 1985. Comparaison de l'influence de deux termitières (humivore et champignoniste) sur la stabilité structurale des sols forestiers tropicaux. *Pedologia*, 32 : 89-97.

- Grouzis M., 1988. *Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso)*. Thèse de doct., Paris Sud, coll. Etudes et thèses, ORSTOM, Paris, 336 p.
- Grassé P., 1982. *Anatomie, physiologie, reproduction des termites. Termitologia*. Masson, Paris, 676 pp.
- Grassé P., 1984. *Termitologia – Tome III – Comportement- Sociabilité- Ecologie*. Masson, Paris 665 p.
- Guinko S., 1984. *Végétation de la Haute Volta*. Thèse de Doctorat ès-Sciences Naturelles. Université de Bordeaux III, tome I, 318 p.
- Hien F.G., 1995. *La régénération de l'espace sylvo-pastorale au Sahel : une étude de l'effet des mesures de conservation des eaux et des sols au Burkina Faso*. Document sur la gestion des ressources tropicales 7. Université Agronomique Wageningen, 219p.
- Holt J.A et M. Lepage 2000. Termites and soil properties. In *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology* (T. Abe, D.E. Bignell et M. Higashi, eds). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 389-407.
- 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, 43 p.
- Jones C.G., J.H. Lawton et M.Shachak, 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69: 373-386.
- J Berthaut., 1954. *La flore du Sénégal*. 2^{ème} édition, Clairafrique Dakar.
- Kabore V., 1995. *Amélioration de la production végétale des sols dégradés par la technique des poquets (Zai)*. Thèse Doct. ès.Sci. Ecole Polytechnique de Lausanne, 229p.
- Kambou F. et Zougmoré R., 1995. Evolution des états de surface d'un « zippelé » soumis à différentes techniques de restauration des sols (Yilou, Burkina Fasa). *Bull Réseau Erosion*, 16 : 19-32.

- Kessler J.J., Maja S.A. et Sawadogo M., 1997. Regeneration of sylvopastoral lands in Sahel zone under village management conditions. *Land Degradation and Development*, 9 : 95-106.
- Kennel R., 1969. Erfahrungen mit der Umfangsmessung. *Forestwiss – Centralbl.*, 83 : 257 – 320.
- Kinane L.M., 2002. *Analyse économique des déterminants de l'adoption des techniques de conservation des eaux et des sols au Yatenga, cas des corrosions pierreux et du zaï*. Mémoire de fin d'étude IDR, 85 p.
- Konaté P.S., 1999. *Structure, composition et distribution et distribution de quelques peuplements ligneux dans les provinces du Seno et du Yaghai*. Mémoire de fin d'étude IRD, 79 p.
- Koné S.T., 2001. *Recru végétal dans le Yatenga, nord-ouest du Burkina Faso. Description des formations végétales régénérées et acteurs de la réhabilitation*. Mémoire DEA Université d'Orléans.
- Kooyman C. et Onck R.F., 1987. *Distribution of termite (Isoptera), species in Southwestern Kenya in relation to land use and morphology of their galleries*. *Biol. Fertil. Sols*, pp 69-73.
- Le Bourgeois T. & Merlier H., 1995. *Adventrop. Les adventices d'Afrique soudano-sahélienne*. Montpellier, France, CIRAD-CA éditeur, 640p.
- Loetsch F., Bandola E., Jankowska K., 1968. Modification of the Wiegert-Evans method for estimation of primary production. *Ecology*, 49, (1): 147-149.
- Lepage M., 1974. *Les termites d'une savane sahélienne (Ferlo septentrional, Sénégal) : peuplements, populations, consommation, rôle dans l'écosystème*. Thèse Univ. Dijon, 344p.
- Lee K.E. and Wood T.G., 1971. *Termites and soils*. Academic Press, London and New York, 251p.
- Lepart J. et Escarré J., 1983. La succession végétale, mécanismes et modèles : analyse bibliographique. *Bull. Ecol.*, 14 (3): 133-178.
- Leonard J. et Rajot J.L. (1998). Restoration of infiltration properties of crusted soils by mulching. In Renard *et al.*, pp. 191-195.

- Lopez-Hernandez D. et A. Febres., 1984. Changements chimiques et granulométriques produits dans des sols de Côte d'Ivoire par la présence de trois espèces de termites. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*, 21 (4) : 477-489.
- Mando A., 1991. *L'impact des termites sur la dégradation de la biomasse végétale et quelques propriétés physiques des sols dégradés. Etude menée à Zanamogo (Province du Bam-Burkina Faso)*. Mémoire IDR, 76 p.
- Mando A. et Midiema R., 1997. Termites induced change in soil structure after mulching degraded (crusted) soil in the Sahel. *Applied Soil Ecology*, 6 : 241-249.
- Mando A., 1997: *The role of termites and mulch in the rehabilitation of crusted sahelian soil, tropical resources management*. Theses, Wageningen Agriculture University, 101p.
- Mando A., Brussard L. et Stroosnijder L., 1999. Mulching and termite mediated rehabilitation of crusted sahelian vegetation. *Restoration Ecology*, 6: 33-41.
- Mando A. ; Zougmore R. ; Zombre N.P. ; 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.
- Maldague E., 1964. Importance des populations de termites des sols équatoriaux. *Proc. 8 th int. Congo – Soil Science Bucherest*, pp. 743 – 751.
- Manlay R. et Masse D., 1998. Dynamique du carbone dans le cycle culture-jachère en Afrique de l'Ouest. In Floret (éd., 1998) : pp. 90-104.
- Manu A., Thrurow T.L., Juo A.R.S., Sanguina I., Gandha M. et Mahamane I., 1994. Sustainable land management in the Sahel. A case study of an agriculture watershed et Hamdallaye, Niger. *Trop. Soil Bulletin*, 9: 4-10.
- Marchall J.Y., 1980. Arbres et brousses du paysage soudano-sahélien. Dynamique des formations végétales au nord de la Haute Volta. *Cahiers ORSTOM, série Sciences Humaines*, 17, (3-4): 134 -149.

- Matsumoto T., 1978. The role of termites in the decomposition of leaf litter on the forest floor of Pesoh Study Area. *Malayan Nat. J.*, 30: 405-413.
- Ministère de l'Agriculture (MA), 1999. *Stratégie et plan d'action de gestion intégrée de la fertilité des sols*. IFDC-Afrique, Ouagadougou, 101 p.
- Mishra S.C. et Sen-Sharma P.K., 1980. Studies on the deterioration of wood by insects. VI. Degradation and digestion of lignin in the digestive tract of termites. *Mater. Org.*, 15 : 119-124.
- Ouédraogo M. & Kaboré V., 1996. Le Zaï, technique traditionnelle de réhabilitation des terres dégradées au Yatenga (Burkina Faso). In *Techniques de conservation de l'eau et des sols en Afrique*, CTA-CDCS-Karthata, pp 119-125.
- Ouédraogo P., 1997. *Rôle des termites dans la structure et la dynamique d'une brousse tigrée soudano-sahélienne*. Th. Doct., Uni. Pierre et Marie Curie, Paris 6, 282 p.
- Ouédraogo P., 1990. *Contribution à l'inventaire des termites au Burkina Faso et étude de méthodes de contrôle des termites*. Mémoire, de fin d'études IDR, 80 p.
- Ovalle C., 1986. *Etude du système écologique sylvo-pastoral Acacia caven (Mol.) Hook et Arn. Application à la gestion des ressources renouvelables dans l'aire climatique méditerranéenne humide et sub-humide du Chili*. CNRS, Montpellier, 224 p.
- Penning de vries & MA Djitéye., 1982. *La productivité des pâturages sahéliens : une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle*. Wageningen, 525 p.
- Pieri C., 1989. *Fertilité des terres de savanes*. Ministère de la coopération et du développement. CIRAD, Paris, 444p.
- Poupon H. et Bille J.C., 1974. Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Ferlo septentrional, Sénégal : influence de la sécheresse sur la strate ligneuse. *La Terre et la Vie*, 28 (1) :49-75.
- Poupon H., 1980. *Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahélienne au nord du Sénégal*. Thèse Doctorat d'Etat. ORSTOM-Paris, 359 p.
- Ricard B., 2000. *Etude de l'évolution de la dégradation des sols d'un milieu soudano-sahélien par le biais de la télédétection*. Mémoire DEA, ISTOM, 62 p.

- Rollet B., 1979. Application de diverses méthodes d'analyse de données à des inventaires forestiers détaillés levés en forêt tropicale. *Oecol. Plant.*, 14 (3) : 319-344.
- Roose E. ; Kaboré V. ; Guemat.C., 1995. Le zaï, une technique traditionnelle africaine de réhabilitation des terres dégradées de la région soudano-sahélienne (Burkina Faso), pp 249-265. In R. Pontanier, A M'Hiri, N Akrimi, J.Arronson, I.E Folche (Ed.), *L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait*. John Libbey Eurotext, Paris.
- Roose E., Dugue P. et L Rodriguez., 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., 1992. Une nouvelle stratégie de lutte anti-érosive appliquée à l'aménagement des terroirs en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. *Bois et Forêts des Tropiques*, 233 : 49-61.
- Roose E. et 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. 40 p.
- Roose E., 1994. *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)*. Bull. Pédol. FAO. 70, Rome, 424 p.
- Ronan L., 1997. *Réhabilitation des sols dégradés en zone soudano-sahélienne par la technique traditionnelle du « zaï », (Burkina Faso)*. Mémoire EPFL, 81 p.
- Sangaré S., 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 IDR, 84 p.
- Shelford V.E., 1911. Ecological Succession. *Biol. Bull.*, 21 : 9-14.
- Somé N.A., 1996. *Les systèmes écologiques post-cultureux de la zone soudanienne (Burkina-Faso). Structure spatio-temporelle des communautés végétales et évolution des caractères pédologiques*. Thèse de Doct. Univ. Pierre et Marie Curie, 212 p.
- Tano Y, Lepage M., 1990. Les termites : dynamique des nids épigés et interactions avec les composantes du milieu. In *Structure et fonctionnement hydro-pédologique d'un petit bassin versant de savane humide*. Equipe Hyperbav, Série Etudes et thèses, ORSTOM, Paris, pp. 105-116.

- Thevoz C., 1997. Le Zaï ou les limites d'une stratégie de mise en culture des sols dégradés au Burkina Faso dans la sécurité alimentaire en question : dilemmes, constats et controverses. *Karthala*, Paris, pp 217-229.
- Van Keulen H.; Breman H., 1990. Agriculture development in the west african sahelian region : a cure against land hanger. *Agri Ecosyst. Environ*, 32 : 177-197.
- Vlaar J.C., 1992. *Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel*. Centre-inter-africain d'études hydrauliques (CIEH), Ouagadougou. Université agronomique de Wageningen (UAW), Wageningen, 99 p.
- Von Maydell H.J, 1992. *Arbres et arbustes du Sahel, leurs caractéristiques et leurs utilisations*. GTZ, Eschborn, 531p.
- Yamashita T. et H. Takeda., 1998. Decomposition and nutrient dynamics of leaf litter in liter bags of two mesh sizes set in two dipterocarp forest in Peninsular Malaysia. *Pedobiologia*, 42: 11-21.
- Zombré N.P. et Ilboudo J.B, 1999. *Stimulation de la réinstallation de la végétation naturelle dans les jachères dénudées en zone sahéenne du Burkina-Faso*. Univ. de Ouagadougou. Projet ENRECA, IDR/ FLASH document de travail n° 10 : 12 p.

ANNEXES

Liste des annexes

Annexe 1 : Liste des familles et des espèces ligneuses recensées sur le site

Annexe 1a : Liste des familles et des espèces ligneuses « zaï 4 »

Annexe 1b : Liste des familles et des espèces ligneuses « zaï 10 »

Annexe 1c : Liste des familles et des espèces ligneuses « zaï 16 »

Annexe 1d : Liste des familles et des espèces ligneuses « zaï 17 »

Annexe 1e : Liste des familles et des espèces ligneuses « zaï 18-19 »

Annexe 1f : Liste des familles et des espèces ligneuses « zaï 20 »

Annexe 2 : Liste des familles et des espèces herbacées recensées sur le site

Annexe 2a : Liste des familles et des espèces herbacées « zaï 10 »

Annexe 2b : Liste des familles et des espèces herbacées « zaï 16 »

Annexe 2c : Liste des familles et des espèces herbacées « zaï 17 »

Annexe 2d : Liste des familles et des espèces herbacées « zaï 18-19 »

Annexe 2e : Liste des familles et des espèces herbacées « zaï 20 »

Annexe 3a : Diversité spécifique des ligneux par 100 m²

Annexe 3b : Diversité spécifique des herbacées par 100 m²

Annexe 4 : Répartition et évolution des fréquences spécifiques des ligneux sur le site d'étude

Annexe 5 : Structure démographiques de la strate ligneuse

Annexe 6 : Surface terrière par 100 m² et par parcelle de zaï

Annexe 7 : Densité des ligneux par 100 m² et par parcelles de zaï

Annexe 8 : Densité des plantules ligneuses par 100 m² et par parcelle de zaï

Annexe 9 : Tableau des variables recueillies par sous-parcelles de 100 m² dans les différents zaï étudiés

Liste des photos

Photo 1a : Vue du zipellé « témoin » (à droite de la photo) et du zaï forestier (à gauche)

Photo 1b : Aspect du zaï de 10 ans (5 ans de culture + 5 ans de jachère)

Photo 2a : Aspect du zaï de 20 ans (5 ans de culture + 15 ans de jachère)

Photo 2b : Aménagements (cordons pierreux) du zaï forestier

Photo 3a : Gestion des sols nus : cordons pierreux et paillage

Photo 3b : Placages de termites sur la litière au sol

Photo 4a : Termitière de *Trinervitermes* sp

Photo 4b : Termitière de *Macrotermes subhyalinus*

Annexe 1 : Liste des familles et des espèces ligneuses recensées sur le site

Familles	Espèces	Abbreviations
Anacardiaceae	Lanea microcarpa Engl. et K. Krouse	Lmi
	Sclerocarya birrea (A. Rich) Hochst.	Sbi
Annonaceae	Saba senegalensis (ADC.) Pichon	Sse
Balamitaceae	Balanites aegyptiaca (Linn.) Del.	Bae
Bignoniaceae	Stereospermum kunthianum Cham.	Sku
Bombacaceae	Adansonia digitata Linn.	Adi
Bursearaceae	Commiphona africana (A. Rich) Engl.	Caf
Capparaceae	Maerua angolensis DC.	Man
	Maerua crassifolia Forsk	Mac
	Capparis corymbosa Lam.	Ccr
	Boscia angustifolia A. Rich	Ban
	Cadaba farinosa Forsk	Cfa
Celastraceae	Maytenus senegalensis (Lam.) Exell.	Mse
Caesalpinaceae	Bauhinia rufescens Lam.	Bru
	Cassia siberiana DC.	Csi
	Piliostigma reticulatum (DC.) Hochst.	Pre
	Tamarindus indica Limm.	Tin
	Parkinsonia aculeata Linn.	Pac
Combretaceae	Anogeissus leocarpus (DC.) Guilll. et Perr.	Ale
	Combretum glutinosum Perr. ex D.C.	Cgl
	Combretum nigricans Lepr.ex Guilll. et Perr.	Cni
	Combretum micranthum G. Don.	Cmi
	Guiera senegalensis J.F. Gmel.	Gse
	Terminalia avicenioides Suill. et Perr.	Tav
	Combretum aculeatum G. Dom	Cac
Ebenaceae	Diospyros mespiliformis Hoschst. ex A.D.C.	Dme
Euphobiaceae	Bridelia ferruginea Benth.	Bfe
	Jatropha curcas Linn.	Jcu
	Jatropha gossipyfolia Linn.	Jgo
	Securinega virosa (Roxb. ex Willd) Bail.	Svi
Fabaceae	Pterocarpus lucens Lepr. ex Guilll. et Perr.	Plu
Meliaceae	Azadirachta indica A. Juss.	Ain
Myrtaceae	Eucalyptus camaldulensis Dehnh.	Eca
Mimosaceae	Acacia siberiana DC.	Asi
	Acacia albida Del.	Aal
	Acacia pennata (Lin.) Willd.	Ape
	Acacia seyal Del.	Asy
	Dicrostachys cineria (L.) Wright et Arn.	Dci
	Acacia macrostachya Reichenb. ex Del	Ama
	Acacia nilotica (Limm.) Will. Ex Del	Ani
	Acacia senegal (Linn.) Wright et Arn.	Ase
	Entada africana Guilll. Et Perr.	Eaf
	Parkia biglobosa (jacq.) Berth.	Pbi
	Prosopis juliflora (SW.) D.C.	Pju
	Prosopis africana (Guilll. Et Perr.) Tamb.	Paf
	Xinemia americana Linn.	Xam
Olacaceae		
Moringaceae	Moringa oleifera Lam	Mol
Rhamnaceae	Ziziphus mauritiana Lam.	Zma
Rubiaceae	Feretia apodanthera Del.	Fap
	Gardenia sokotensis Hutch.	Gso
	Gardenia ternifolia Schum. Et Thonn.	Gte
Sapotaceae	Butyrospermum paradoxum (Gaertn.f.) Hepper	Bpa
Tiliaceae	Grewia flavescens Juss.	Gfl
	Grewia bicolor Juss.	Gbi

Annexe 1a : Liste des familles et des espèces « zaï 4 »

<i>Familles</i>	<i>Espèces</i>
Anacardiaceae	Lanea microcarpa Engl. & K. Krause
	Sclerocarya birrea (A. Rich.) Hochst.
Balanitaceae	Balanites aegyptiaca (Linn.) Del.
Bombaceae	Adansonia digitata Linn.
Césalpiniaceae	Bauhinia rufescens Linn.
	Cassia siberiana DC.
	Piliostigma reticulatum (DC.) Hochst.
Combretaceae	Combretum miocranthum G. Dom
	Guiera senegalensis J. F. Guel.
Fabaceae	Pterocarpus lucens Lepr. ex Guill. & Perr.
Meliaceae	Azadirachta indica A. Juss.
Mimosaceae	Acacia albida Del.
	Acacia Senegal (Linn.) Willd. ex Del.
	Acacia macrostachya Reichenb. ex Benth.
	Acacia nilotica (Linn.) Willd. ex Del
	Acacia seyal Del.
	Dichrostachys cinerea (L.) Wright & Arn.
	Parkia biglobosa (Jacq.) Benth.
	Prosopis africana (Guill. & Perr.) Zanb.
	Prosopis juliflora (SW.) DC.
Myrtaceae	Eucalyptus camaldulensis Dehnh.
Rhamnaceae	Ziziphus mauritiana Lam.

Annexe 1 b : Liste des familles et des espèces ligneuses « zaï 10 »

<i>Familles</i>	<i>Espèces</i>
Anarcadiaceae	Lanea microcarpa Engl. & K. Krause
	Sclerocarya birrea (A. Rich.) Hochst.
Annonaceae	Saba senegalensis (ADC.) Pichon
Balanitacea	Balanites aegyptiaca (Linn.) Del.
Bignoniaceae	Stereospermum kuntianum Cham.
Bombacaceae	Adansonia digitata Linn.
Capparaceae	Boscia angustifolia A. Rich.
	Cadaba farinosa Forsk.
	Maerua angolensis DC.
Césalpiniaceae	Cassia siberiana DC.
	Piliostigma reticulatum (DC.) hochst.
	Tamarindus indica Linn.
Combretaceae	Combretum micranthum G. Dom
	Combretum nigricans Lepr. ex Guill. & Perr.
	Combretum glutinosum Perr. ex DC.
	Guiera senegalensis J.F.Gmel
Euphorbiaceae	Securinea virosa (Roxb. ex Willd.) Baill.
Fabaceae	Pterocarpus lucens Lepr. ex Guill. & Perr.
Meliaceae	Azadirachta indica A. Juss
Mimosaceae	Acacia macrostachya Reichenb. ex Benth.
	Acacia nilotica (Linn.) Willd ex Del.
	Acacia senegal (Linn.) Willd.
	Acacia seyal Del.
	Dicrostachys cinerea (L.) Wright & Arn.
	Entada africana Guill. & Perr.
	Parkia biglobosa (Jaq.) Benth.
	Acacia albida Del.
	Prosopis africana (Guill. & Perr.) Faub.
Moringaceae	Moringa oleifera Lam.
Rhamnaceae	Ziziphus mauritiana Lam
Sapotaceae	Butyrospermum paradoxum (Gaertn.f.) Hepper

Annexe 1c : Liste des familles et des espèces ligneuses « zaï 16 »

<i>Familles</i>	<i>Espèces</i>
Anacardiaceae	Sclerocarya birrea (A. Rich.) Hochst.
	Lanea microcarpa Engl. & K. Krause
Balanitaceae	Balanites aegyptiaca (Linn.) Del.
Bignoniaceae	Stereospermum kunthianum Cham.
Bombacaceae	Adansonia digitata Linn.
Capparaceae	Maerua angolensis DC.
	Boscia angustifolia A. Rich.
Césalpiniaceae	Cassia siberiana DC.
	Piliostigma reticulum (DC.) Hochst.
Combretaceae	Combretum micranthum G. Don
	Guiera senegalensis J. F. Gmel
	Terminalia avicenoïdes Guill. et Perr.
	Combretum glutinosum Perr. ex DC.
	Anogeissus leocarpus (DC.) Guill. & Perr.
Ebénaceae	Diospyros mespiliformis Hochst ex A. DC.
Euphorbiaceae	Jatropha curcas L.
	Jatropha gossypifolia L.
	Securinega virosa (Roxb. ex Willd.) Baill.
Fabaceae	Pterocarpus lucens Guill. & Perr
Meliaceae	Azadirachta indica A. Juss.
Mimosaceae	Acacia nilotica (Linn.) Willd.
	Acacia seyal Del.
	Acacia senegal (Linn.) Willd.
	Dichrostachys cinerea (L.) Wight & Arn.
	Acacia macrostachya Reichenb. Ex Benth.
	Acacia albida Del.
Rhamnaceae	Ziziphus mauritiana Lam.
Rubiaceae	Feretia apodanthera Del.
	Gardenia ternifolia Schum. & Thonn.
Sapotaceae	Butyrospermum paradoxum (Gaertn.f.) Hepper
Tiliaceae	Grewia flavescens Juss.
	Grewia bicolor Juss.

Annexe 1d : Liste des familles et des espèces ligneuses « zaï 17 »

<i>Familles</i>	<i>Espèces</i>
Anacardiaceae	Lannea microcarpa Engl. & K. Krause
	Sclerocarya birrea (A. Rich) Hochst.
Annonaceae	Saba senegalensis (A.DC.)
Balanitaceae	Balanites aegyptiaca (Linn.) Del.
Bombaccaceae	Adansonia digitata Linn.
Capparaceae	Boscia angustifolia A. Rich.
	Maerua angolensis DC.
Caesalpiniaceae	Cassia siberiana DC.
	Parkinsonia aculeata L.
	Piliostigma reticulatum (DC.) Hochst.
	Tamarindus indica Linn.
Combretaceae	Anogeissus leocarpus (DC.) Guill. & Perr.
	Combretum aculeatum Vent.
	Guiera senegalensis J.F. Gmel.
	Combretum micranthum G.Don.
	Terminalia avicenoïdes Guill. & Perr.
Ebénaceae	Diospyros mespiliformis Hochst. ex A.D.C.
Euphorbiaceae	Jatropha curcas Linn.
	Securinea virosa (Roxb. Ex Willd.) Baill.
	Jatropha gossipyfolia Linn.
Fabaceae	Pterocarpus lucens Lepr. ex Guill. & Perr
Meliaceae	Azadirachta indica A. Juss
Mimosaceae	Acacia albida Del.
	Acacia macrostachya Reichenb. Ex Benth.
	Acacia nilotica (Linn.) Willd. ex Del
	Acacia penneta (Linn.) Willd.
	Acacia senegal (Linn.) Willd.
	Acacia seyal Del.
	Dicrostachys cineria (L.) Wright & Arn.
	Entada africana Guill. & Perr.
	Parkia biglobosa (Jacq.) Benth.
Rhamnaceae	Ziziphus mauritiana Lam.
Rubiaceae	Gardenia ternifolia Schum. & Thonn.
Sapotaceae	Butyrospermum paradoxum (Gaert.f.) Hepper
Tiliaceae	Grewia bicolor Juss.

Annexe 1e : Liste des familles et des espèces ligneuses « zaï 18-19 »

<i>Familles</i>	<i>Espèces</i>
Anacardiaceae	Lanea microcarpa Engl. & K. Krause
	Sclerocarya birrea (A. Rich) Hochst
Annonaceae	Saba senegalensis (A. DC.) Pichon
Balanitaceae	Balanites aegyptiaca (Linn.) Del
Bignoniaceae	Stereospermum kuntianum Cham.
Bombacaceae	Adansonia digitata Linn.
Capparaceae	Boscia angustifolia A. Rich.
	Maerua angolensis DC.
Caesalpiniaceae	Cassia siberiana DC.
	Piliostigma reticulatum (DC.) Hochst.
	Tamarindus indica Linn.
Combretaceae	Anogeissus leocarpus (DC.) Guill. & Perr.
	Combretum micranthum G. Dom.
	Combretum nigricans Lepr. ex Guill. & Perr
	Guiera senegalensis J.F.Gmel.
	Terminalia avicenoïdes Guill. & Perr.
Ebénaceae	Diospyros mespiliformis Hochst. Ex A.DC.
Euphorbiaceae	Jatropha gossipyfolia L.
	Securinea virosa (Roxb.ex Willd.) Baill.
Fabaceae	Pterocarpus lucens Lepr. Ex Guill. & Perr.
Meliaceae	Azadirachta indica A. Juss.
Mimosaceae	Acacia albida Del.
	Acacia seyal Del.
	Acacia macrostachya Reichenb. Ex Benth.
	Acacia nilotica (Linn.) Willd. Ex Del.
	Acacia senegal (Linn.) Willd.
	Acacia siberiana DC.
Olacaceae	Xinemia americana Linn.
Rhamnaceae	Ziziphus mauritiana Lam.
Rubiaceae	Gardenia ternifolia Schum. E Thonn.
Tiliaceae	Grewia bicolor Juss.

Annexe 1 f : Liste des familles et des espèces ligneuses « zaï 20 »

<i>Familles</i>	<i>Espèces</i>
Annonaceae	<i>Saba senegalensis</i> (ADC) Pichon.
Anacardiaceae	<i>Lannea microcarpa</i> Engl. & K. Krause
	<i>Sclerocarya birrea</i> (A. Rich.) Hochst.
Balanitaceae	<i>Balanites aegyptiaca</i> (Linn.) Del.
Bignoniaceae	<i>Stereospermum kunthianum</i> Cham.
Bombacaceae	<i>Adansonia digitata</i> Linn.
Burseraceae	<i>Commiphora africana</i> (A. Rich.) Engl.
Capparaceae	<i>Boscia angustifolia</i> A. Rich.
	<i>Capparis corymbosa</i> Lam.
	<i>Maerua angolensis</i> DC.
	<i>Maerua crassifolia</i> Forsk.
Celastraceae	<i>Maytenus senegalensis</i> (Lam.) Excell.
Caesalpiniaceae	<i>Cassia sibeiana</i> DC.
	<i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.
	<i>Tamarindus indica</i> Linn.
Combretaceae	<i>Anogeissus leocarpus</i> (DC.) Guill. & Perr
	<i>Combretum nigricans</i> Lepr. Ex Guill. & Perr.
	<i>Combretum glutinosum</i> Perr. ex DC.
	<i>Combretum micranthum</i> G. Don
	<i>Guiera senegalensis</i> J.F. Gmel.
	<i>Terminalia avicenoides</i> Guill. & Perr.
Ebenaceae	<i>Diospyros mespiliformis</i> Hochst. Ex A. DC.
Euphorbiaceae	<i>Bridelia ferruginea</i> Benth.
	<i>Jatropha curcas</i> L.
	<i>Jatropha gossypifolia</i> Linn.
	<i>Securinega virosa</i> (Roxb. Ex Willd.) Baill.
Fabaceae	<i>Pterocarpus lucens</i> Guill. & Perr.
Méliaceae	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.
Mimosaceae	<i>Acacia albida</i> Del.
	<i>Acacia macrostachya</i> Reichenb. Ex Benth.
	<i>Acacia nilotica</i> (Linn.) Willd. Ex Del.
	<i>Acacia senegal</i> (Linn.) Willd.
	<i>Acacia seyal</i> Del.
	<i>Dichrostachys cineria</i> (L.) Wright & Arn.
	<i>Entada africana</i> Guill. & Perr.
Rhamnaceae	<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.
Rubiaceae	<i>Feretia apodanthera</i> Del.
	<i>Gardenia sokotensis</i> Hutch.
	<i>Gardenia ternifolia</i> Schum. & Thonn.
Sapotacea	<i>Butyrospermum paradoxum</i> (Gaertn.f.) Hepper

Annexe 2 : Liste des familles et des espèces herbacées recensées sur le site

<i>Familles</i>	<i>Espèces</i>	<i>Abbreviations</i>
Acanthaceae	Peristrophe bicalyculata (Retz.) Nees.	Pbi
Amaranthaceae	Achyranthes aspera L. Pandiaka heudelotii (Moq.) Hook	Aas Phe
Asclepiadaceae	Leptadenia hastata (Pers.) Dcne.	Leh
Caryophyllaceae	Polycarpaea corymbosa (L.) Lam.	Pco
Caesalpiniaceae	Cassia nigricans Vahl. Cassia tora L.	Cni Cto
Convolvulaceae	Ipomoea coscinosperma Hochst.ex Schult. Ipomoea eriocarpa R.Brown Evolvulus alsinoides L.	Ico Ier Eaa
Cyperaceae	Fimbristylis hispidula	Fhi
Euphorbiaceae	Chorozophora brocchiana Vis.	Cbr
Fabaceae	Zornia glochidiata Reichb. Tephrosia mossensis A. Chev. Alysicarpus ovalifolius (S. et Th.) Leon Indigofera tinctoria L. Indigofera astragalina DC. Crotalaria mucronata Desv. Tephrosia bracteolata Guill.et Perr. Sesbania sesban (L.) Merrill. Stylosanthes mucronata Willd.	Zgl Tmo Aov Iti Ias Cmu Tbr Sse Smu
Lamiaceae	Leucas martinicensis (Jacq.) Ait.	Lma
Malvaceae	Sida acuta L Waltheria indica L. Sida alba L.	Saq Win Sal
Asclepiadaceae	Caralluma daziellii N.E.Br.	Cad
Poaceae	Pennisetum pedicellatum Trin. Eragrostis pilosa (L.) P. Beauv. Schoenefeldia gracilis Kunth. Aristida adscensionis L. Schizachyrium exile Stapf. Dactyloctenium aegyptium Beauv. Andropogon gayanus Kunth. Cymbopogon giganteus Chiov. Andropogon pseudapricus Stapf. Bachiaria disticophylla Stapf. Bachiaria lata (Schum.) Hubb. Rottboellia exaltata L. Sporobolus granularis Mez. Chloris pilosa Sch. Et Thonn. Chasmopodium caudatum (Hack.) Stapf. Microchloa indica (L.) Beauv.	Ppe Epi Sgr Aad Sxe Dae Aga Cgi Asp Bdi Bla Rex Sgr Cpi Cca Min
Rubiaceae	Spermacoce radiata DC. Spermacoce chaetocephala (DC.) Hepp. Spermacoce paludosa Hepp. Spermacoce stachydea (DC.) H. et Dalz.	Bra Bch Bpa Bst
Rhamnaceae	Wissadula amplissima	Wam
Tiliaceae	Corchorus tridens L. Triumfetta pentandra A.Rich.	Ctr Tpe
Polygalaceae	Polygala eriocarpa DC.	Per

Annexe 2a : Liste des familles et des espèces herbacées « zaï 10 »

<i>Familles</i>	<i>Espèces</i>
Acanthaceae	Peristrophe bicalyculata (Retz.) Nees.
Amaranthaceae	Achyranthes aspera L.
Caryophyllaceae	Polycarpaea corymbosa (L.) Lam.
Caesalpiniaceae	Cassia nigricans Vahl.
	Cassia tora L.
Convolvulaceae	Ipomoea coscinosperma Hochst.ex Scult.
Fabaceae	Zornia glochidiata Reichb.
Fabaceae	Tephrosia mossiensis A. Chev.
	Alysicarpus ovalifolius (S. et Th.) Leon.
	Indigofera tinctoria L.
Lamiaceae	Leucas martinicensis (Jacq.) Ait.
Malvaceae	Sida acuta L.
	Waltheria indica L.
Poaceae	Microchloa indica (L.) Beauv.
	Pennisetum pedicellatum trin.
	Eragrostis pilosa P. Beauv.
	Schoenefeldia gracilis Kunth.
	Aristida adscensionis L.
	Schizachyrium exile Stapf.
	Dactyloctenium aegyptium Beauv.
Rhamnaceae	Wissadula amplissima (L.) Fries.
Rubiaceae	Spermacoce paludosa Hepp.
	Spermacoce chaetocephala (D.C.
	Spermacoce radiata DC.

Annexe 2b : Liste des familles et des espèces herbacées « zaï 16 »

<i>Familles</i>	<i>Espèces</i>
Acanthaceae	Peristrophe bicalyculata (Retz.) Nees.
Amaranthaceae	Pandiaka heudelotii (Moq.) Hook
	Achyranthes aspera L.
Caryophyllaceae	Polycarpaea corymbosa (L.) Lam.
Césalpiniaceae	Cassia nigricans DC.
Fabaceae	Indigofera astragalina DC.
	Indigofera tinctoria L.
	Crotalaria mucronata Desv.
Poaceae	Pennisetum pedicellatum Trin.
	Andropogon gayanus Kunth.
	Eragrostis pilosa P. Beauv.
	Dactyloctenium aegyptium Beauv.
	Schizachyrium aegyptium Beauv.
	Aristida adscensionis L.
	Microchloa indica (L) Beauv.
	Schoenefeldia gracilis Kunth.
Rhamnaceae	Wissadula amplissima (L.) Beauv.
Rubiaceae	Spermacoce chaetocephala (DC.) Hepp.
	Spermacoce radiata DC.
Tiliaceae	Corchorus tridens L.

Annexe 2c : Liste des familles et des espèces herbacées « zaï 17 »

<i>Familles</i>	<i>Espèces</i>
Acanthaceae	Peristrophe bicalyculata (Retz.) Nees.
	Dicliptera verticillata (Forsk.) Chiov.
Amaranthaceae	Achyranthes aspera L.
Asclepiadaceae	Leptadenia hastata (Pers.) Decne.
Caesalpiniaceae	Cassia nigricans Vahl.
Convolvulaceae	Ipomoea coscinosperma Hochst.
	Evolvulus alsinoides L.
Fabaceae	Sesbania sesban (L.) Merril.
	Indigofera tinctoria L.
	Tephrosia mossiensis A. Chiev.
	Zornia glochidiata Reichb.
	Alysicarpus ovalifolius (S. et Th.) Leon.
Lamiaceae	Leucas martinicensis (Jacq.) Ait.
Malvaceae	Sida alba L.
	Waltheria indica L.
Poaceae	Andropogon gayanus Kunth.
	Cymbopogon giganteus Chiov.
	Pennisetum pedicellatum Trin.
	Brachiaria disticophylla Stapf.
	Schoenefeldia gracilis Kunth.
	Eragrostis pilosa (L.) P. Beauv.
	Dactyloctenium aegyptium Beauv.
	Brachiaria lata (Schum.) Hubb.
	Sporobolus granularis Mez.
	Chloris pilosa Sch. & Thonn.
	Aristida adscensionis L.
	Schizachyrium exile Stapf.
	Microchloa indica (L.) Beauv.
	Chasmopodium caudatum (Hock) Stapf.
Rhamnaceae	Wissadula amplissima (L.) Fries.
Rubiaceae	Spermacoce stachydea (DC.) H. & Dalz.
	Spermacoce radiata DC.
Tiliaceae	Triumfetta pentandra A. Rich.

Annexe 2d : Liste des familles et des espèces herbacées « zaï 18-19 »

<i>Familles</i>	<i>Espèces</i>
Amaranthaceae	Achyranthes aspera L.
	Pupalia lappacea (L.) Juss
Asclépiadaceae	Leptadenia hastata (Pers.), Dece.
Caryophyllaceae	Polycarpaea corymbosa (L.) Lam.
Caesalpiniaceae	Cassia nigricans Vahl.
Cyperaceae	Fimbristylis hispidula
Euphorbiaceae	Chorozophora brocchiana Vis.
Fabaceae	Indigofera tinctoria L.
	Crotalaria mucronata Desv.
Lamiaceae	Leucas martinicensis (Jacq.) Ait.
Malvaceae	Sida alba L.
	Waltheria indica L.
Poaceae	Sporobolus granularis Mez.
	Aristida adscensionis L.
	Schoenefeldia gracilis Kunth.
	Pennisetum pedicellatum Trin.
	Andropogon gayanus Kunth.
	Schizachyrium exile Stapf.
	Microchloa indica (L.) Beauv.
Rubiaceae	Spermacoce radiata DC.
Tiliaceae	Triumfetta pentandra A. Rich.

Annexe 2e : Liste des familles et des espèces herbacées « zaï 20 »

<i>Familles</i>	<i>Espèces</i>
Acanthaceae	Peristrophe bicalyculata (retz.) Nees.
Amaranthaceae	Achyranthes aspera L.
Asclepiadaceae	Leptadenia hastata (Pers.) Decne.
Caryophyllaceae	Polycarpaea corymbosa (L.) Lam.
Caesalpiniaceae	Cassia tora L.
	Cassia nigricans Vahl.
Convolvulaceae	Ipomoea eriocarpa R. Brown
Fabaceae	Tephrosia bracteolata Guill. & Perr.
	Indigofera tinctoria L.
	Zornia glochidiata Reichb.
	Crotalaria mucronata Desv.
Malvaceae	Waltheria indica L.
Poaceae	Andropogon gayanus
	Cymbopogon giganteus Chiov.
	Andropogon pseudapricus Stapf.
	Schizachyrium exile Stapf.
	Brachiaria disticophylla Stapf.
	Aristida adscensionis L.
	Rottboellia exaltata L.
	Pennisetum pedicellatum Trin.
Microchloa indica (L.) Beauv	
Asclepiadaceae	Caralluma daziellii N.E.Br.
Polygalaceae	Polygala eriocarpa DC.
Rhamnaceae	Sida alba L.
	Wissadula amplissima (L.) Fries.
Rubiaceae	Borreria chaetocephala (DC.) Hepp.
	Spermacoce radiata DC.
Tiliaceae	Corchorus tridens Linn.
	Triumfetta pentandra A. Rich.

Annexe 3a : Diversité spécifique des ligneux par 100 m²

N° parcelle	zaï 4	zaï 10	zaï 16	zaï 17	zaï 18-19	zaï 20
1	7	5	9	16	7	13
2	8	8	10	14	9	22
3	7	10	11	15	11	22
4	5	8	10	17	14	12
5	5	7	13	15	8	13
6	6	8	9	13	10	17
7	6	10	11	14	9	20
8	5	11	10	15	11	17
9	4	9	10	15	7	17
10	5	9	12	13	6	18
11	4	10	12	11	9	16
12	7	6	11	14	9	18
13	6	11	10	12	6	17
14	5	8	9	11	8	16
15	5	7	12	9	9	11
16	7	10	10	10	7	16
17	4	9	11	9	11	18
18	3	10	7	14	7	14
19	4	11	8	10	4	18
20	6	7	13	12	12	17
21	4	8	5	8	9	15
22	4	9	5	9	14	15
23	5	6	6	11	5	16
24	6	8	12	13	5	16
25	5	7	13	12	7	19

Annexe 3b : Diversité spécifique des herbacées par 100 m²

Parcelle	zaï 10	zaï 16	zaï 17	zaï 20	zaï 18-19
2	5	5	11	12	7
4	10	7	16	3	8
6	5	3	4	11	3
8	3	4	3	8	6
10	7	7	5	8	2
12	5	5	2	11	3
14	6	5	3	2	3
16	3	6	2	8	7
18	3	8	4	8	4
20	6	7	5	4	0
22	5	1	9	8	0
24	4	6	1	9	0

Annexe 6 : Surface terrière par 100 m² et par parcelle de zaï

N° Parcelle	zaï 4	zaï 10	zaï 16	zaï 17	zaï 20
1	118,94	125,24	238,01	985,41	440,68
2	26,27	517,67	254,46	1644,2	1807,56
3	125	154,37	391,64	838,28	859,95
4	40,14	930,17	500,2	1291	652,74
5	65,06	269,5	710,73	1109,86	375,12
6	33,85	756,62	1165,2	1052,51	591,14
7	39,58	1291,5	937,59	1677,35	1299,09
8	1,27	990,53	881,01	987,96	2103,68
9	19,26	773,31	660,53	1177,12	661,14
10	6,39	342,94	756,58	473,14	1282,2
11	41,81	504,13	1254,59	1556,53	1175,46
12	33,61	168,99	504,85	2153,71	846,43
13	19,82	934,53	1118	1054,62	1206,09
14	25,5	507,1	640,28	1135,74	1213,21
15	10,58	226,84	1374,5	1347,94	369,55
16	30,03	477,6	536,66	869,55	434,93
17	32,76	424,25	650,29	183,12	885,92
18	200	1006,76	211,72	554,3	1054,71
19	11,09	220,87	277,94	631,27	865,96
20	5,09	712,11	773,71	975,18	789,76
21	89,82	120,47	72,21	339,82	861,53
22	57,43	355,56	134,1	195,7	1291
23	9,63	281,42	470,46	1769,59	2179,49
24	30,32	175,83	465,28	744,82	182,34
25	28,94	450,02	926,81	1075,25	1424,52
moyenne	44,0876	508,7332	636,294	1032,9588	994,168
Somme /2500 m2	1102,19	12718,33	15907,35	25823,97	24854,2
m2 / ha	0,44	5,09	6,36	10,32	9,94

Annexe 7 : Densité des ligneux par 100m² et par parcelles de zaï forestier

N° parcelle	zaï 4	zaï 10	zaï 16	zaï 17	zaï 20	zaï 18-19
1	7	11	22	78	12	25
2	6	25	21	83	40	19
3	5	24	22	70	30	16
4	4	19	41	49	40	17
5	8	25	39	49	28	10
6	4	25	60	64	50	31
7	9	40	26	83	40	41
8	5	52	24	52	19	24
9	2	39	44	61	32	24
10	2	24	59	45	40	17
11	3	28	29	95	36	24
12	7	21	14	80	42	18
13	3	44	33	78	31	1
14	7	27	31	68	29	16
15	5	37	43	56	16	14
16	6	24	19	48	28	18
17	3	22	19	25	33	15
18	4	27	12	39	40	24
19	4	26	25	29	29	24
20	3	62	52	39	52	35
21	5	23	10	39	16	14
22	5	27	12	21	22	28
23	1	19	17	27	27	15
24	5	20	29	42	10	16
25	8	49	53	58	30	27
Total	121	740	756	1378	772	513
densité à ha	484	2960	3024	5512	3088	2052

Annexe 8 : Densité des plantules ligneuses par 100 m² et par parcelle de zaï

PARCELLE	z 4	z 10	z 16	z 17	z 20	z 18-19
1	17	16	94	204	256	57
2	82	200	83	240	800	68
3	54	107	123	117	126	67
4	22	47	63	531	947	180
5	50	30	54	152	306	125
6	48	185	131	142	188	1026
7	33	221	118	140	240	355
8	40	153	87	106	101	270
9	45	36	75	160	296	203
10	38	45	52	233	158	94
11	31	67	167	109	174	173
12	30	56	205	207	120	91
13	60	75	98	138	199	53
14	57	63	67	300	614	182
15	40	41	116	116	251	106
16	44	239	209	132	486	60
17	28	55	129	153	646	166
18	29	38	37	50	254	210
19	20	56	101	283	1334	9
20	48	68	114	314	617	25
21	33	74	15	335	584	38
22	17	44	17	45	82	116
23	52	38	3	110	150	110
24	40	36	76	284	319	49
25	42	48	67	621	256	14

Annexe 9 : Tableau des variables recueillies par sous-parcelles de 100 m² dans les différents zaï étudiés

(BH = biomasse herbacée en g de matière sèche par m² ; RH = recouvrement herbacé en pourcentage ; SpH = nombre d'espèces herbacées ; SpL = nombre d'espèces ligneuses ; ST = surface terrière des ligneux en cm² par 100 m² ; DPI = densité des plantules par 100 m² ; DLi = densité des ligneux par 100 m² ; DTe = densité des termitières ; Ste = surfaces basales des termitières ; VTe = volumes des termitières ; % Grav = pourcentage de gravillons > 2 mm dans l'horizon de surface 0-20 cm ; % Pl = pourcentage du sol couvert par les placages de termites, données de Frédéric David ; Trous = nombre de trous de récolte de termites par m², données de Frédéric David).

Sous- parcelles de 100 m ²	BH	RH	SpH	SpL	ST	DPI	DLi	DTe	STe	VTe	%		
											Grav	%Pl	Trous
Z10-2	297	78	5	8	517,67	200	25	1	8,8	10,7	14,1	45	83
Z10-4	307,9	53	10	8	930,17	47	19	0	0	0	19,6	3	17
Z10-6	135	63	5	8	756,62	185	25	1	27,7	24,8	18,8	5	14
Z10-8	695,1	91,5	3	11	990,53	153	52	0	0	0	10,4	19	54
Z10-10	605,5	72,5	7	9	342,94	45	24	0	0	0	11,2	17	22
Z10-12	121,9	55,5	5	6	168,99	56	21	0	0	0	23,7	5	20
Z10-14	170,4	72,5	6	8	507,1	63	27	0	0	0	6,8	6	19
Z10-16	651	50	3	10	477,6	239	24	0	0	0	16,9	9	16
Z10-18	55	25,25	3	10	1006,76	38	27	1	9,1	9,4	8,8	1	4
Z10-20	560,3	49	6	7	712,11	68	62	0	0	0	45,3	10	28
Z10-22	201	24,5	5	9	355,56	44	27	0	0	0	6,7	2	7
Z10-24	434,1	28,5	4	8	175,83	36	20	0	0	0	11	14	28
Z16-2	132,51	45	5	10	254,46	83	21	0	0	0	4,5	31	70
Z16-4	100,06	39	7	10	500,2	63	41	1	20,9	19,9	10,5	22	52
Z16-6	15,31	34	3	9	1165,2	131	60	1	44,8	40,9	6,2	28	39
Z16-8	635,75	76	4	10	881,01	87	24	0	0	0	8,1	33	43
Z16-10	233,15	59,5	7	12	756,58	52	59	0	0	0	19	32	58
Z16-12	1043,81	96	5	11	504,85	205	14	1	8,3	10,8	16,8	40	85
Z16-14	144	18,5	5	9	640,28	67	31	0	0	0	7,3	8	36
Z16-16	468,8	55	6	10	536,66	209	19	1	0	0	49,9	27	49
Z16-18	53,1	15,5	8	7	211,72	37	12	1	18,1	20,1	27,8	31	40
Z16-20	263,9	54,5	7	13	773,71	114	52	0	0	0	10,5	2	4
Z16-22	3,8	1,5	1	5	134,1	17	12	0	0	0	45,5	2	8
Z16-24	116,6	45	6	12	465,28	76	29	0	0	0	6,7	9	8
Z17-2	734	100	11	14	1644,2	240	83	3	30,3	28,5	10,5		
Z17-4	527,9	91,5	16	17	1291	531	49	0	0	0	6,2		
Z17-6	841,2	98	4	13	1052,51	142	64	3	30,3	31,3	8,1		
Z17-8	878,3	91	3	15	987,96	106	52	1	15,5	13,4	19		
Z17-10	219,3	79,5	5	13	473,14	233	45	1	4,9	6,9	16,8		
Z17-12	122,4	81,5	2	14	2153,71	207	80	1	9,1	10	7,3		
Z17-14	595,8	91,5	3	11	1135,74	300	68	3	35,7	30,4	49,9		
Z17-16	1344,5	95,5	2	10	869,55	132	48	3	32,5	28,2	27,8		
Z17-18	685,1	93	4	14	554,3	50	39	2	27,1	27,6	10,5		
Z17-20	336,5	93,5	5	12	975,18	314	39	3	24	24,7	45,5		
Z17-22	144,6	42	9	9	195,7	45	21	0	0	0	6,7		
Z17-24	501,7	78	1	13	744,82	284	42	0	0	0	10,5		

Annexe 9 (suite) : Tableau des variables recueillies par sous-parcelles de 100 m² dans les différents zaï étudiés

Sous-parcelles de 100 m ²	BH	RH	SpH	SpL	ST	DPI	Dli	DTe	STe	VTe	%		
											Grav	%Pl	Trous
Z20-2	105,13	44,5	12	22	1807,56	800	40	2	14	16,1	7,9	51	43
Z20-4	279,84	93	3	12	652,74	947	40	0	0	0	4,9	61	60
Z20-6	209,73	75	11	17	591,14	188	50	1	7,5	9,7	18,8	33	45
Z20-8	136,78	67,5	8	17	2103,68	101	19	0	14,8	16,4	10,4	49	42
Z20-10	135,4	89	8	18	1282,2	158	40	3	16,5	15,4	11,1	32	38
Z20-12	514,59	94,5	11	18	846,43	120	42	1	8,7	9,6	23,8	36	46
Z20-14	240,02	91,25	2	16	1213,21	614	29	1	8,5	9	6,8	35	42
Z20-16	380,97	82,25	8	16	434,93	486	28	3	28,1	26,5	16,9	19	34
Z20-18	112,27	75,25	8	14	1054,71	254	40	4	9,9	10,8	8,8	48	28
Z20-20	485,11	94,5	4	17	789,76	617	52	2	19,1	20,3	45,3	41	26
Z20-22	627,52	81	8	15	1291	82	22	1	13,2	16,3	6,7	10	25
Z20-24	379,07	78,5	9	16	182,34	319	10	1	9,1	6,6	11	32	60
Z19-2	190,2	40	7	9	196,31	68	19	1	8,8	9,8	67,7		
Z19-4	97	44,5	8	14	802,95	180	17	1	0	14,1	80,1		
Z19-6	322,8	59,75	3	10	466,66	1026	31	0	0	0	71,6		
Z19-8	139,3	37	6	11	337,19	270	24	0	0	0	44		
Z19-10	25,5	17	2	6	708,66	94	17	0	0	0	55,3		
Z19-12	90,9	31,5	3	9	289,61	91	18	0	0	0	38,8		
Z19-14	44,8	34	3	8	277,06	182	16	0	0	0	55,4		
Z19-16	213	44,5	7	7	440,84	60	18	0	0	0	67,2		
Z19-18	108,8	8,5	4	7	1257,07	210	24	0	0	0	23,1		
Z19-20	0	6	0	12	2002,68	25	35	0	0	0	61,1		
Z19-22	0	2	0	14	837,94	116	28	2	40,3	25,9	45,1		
Z19-24	0	1	0	5	207,74	49	16	3	0	0	24,6		

Planche Photos N°1



**Photo 1a : Vue du zipellé “témoin” (à droite de la photo) et du zaï forestier (à gauche)
(entre les deux : zone tampon constituée par une parcelle de zaï agricole)**

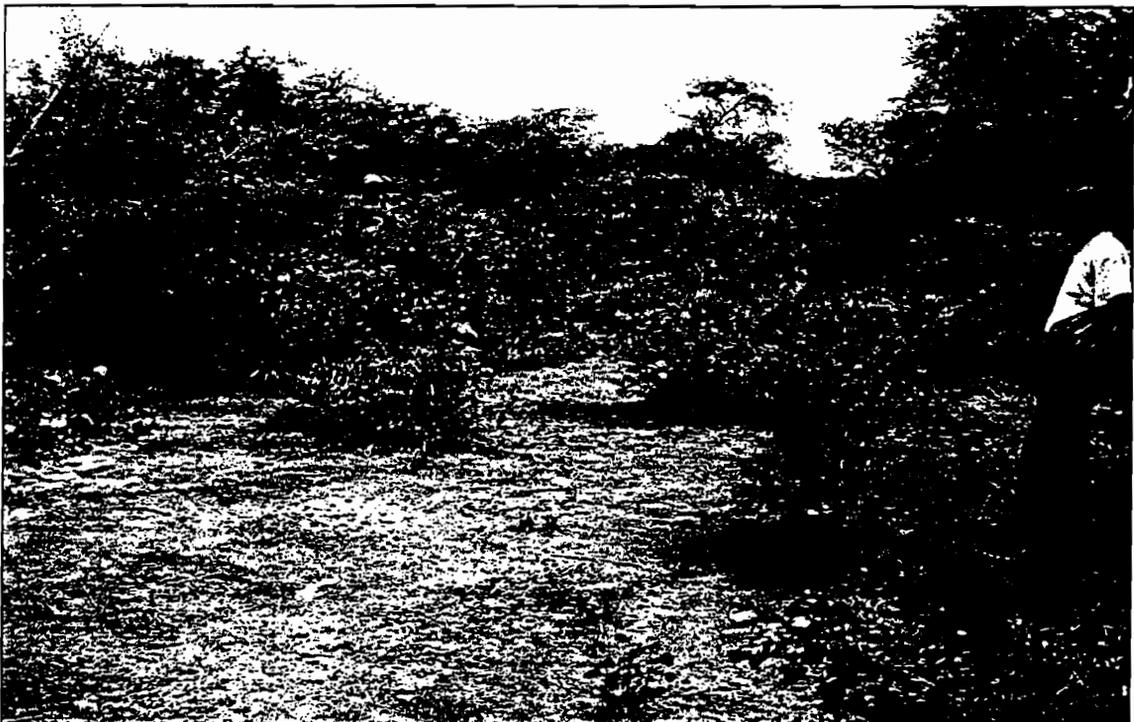


Photo 1b: Aspect du zaï de 10 ans (5 ans de culture + 5 ans de jachère)

Planche Photos N°2



Photo 2a : Aspect du zaï de 20 ans (5 ans de culture + 15 ans de jachère)



Photo 2b : Aménagements (cordons pierreux) du zaï forestier

Planche Photos N°3



Photo 3 a : Gestion des sols nus : cordons pierreux et paillage



Photo 3 b : Placages de termites sur la litière au sol

Planche Photos N°4



Photo 4 a : Termitière de *Trinervitermes* sp.



Photo 4 b : Termitière de *Macrotermes subhyalinus*