

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIERES	iv
RESUME.....	viii
ABSTRACT	ix
SIGLES ET ABREVIATIONS	x
LISTE DES PHOTOGRAPHIES.....	xi
LISTE DES TABLEAUX.....	xii
LISTE DES FIGURES	xiii
INTRODUCTION GENERALE	1
PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	6
CHAPITRE I : CADRE DE L'ETUDE	6
I- Milieu biophysique	6
I.1- Situation géographique de la Forêt classée de Kuinima.....	6
I.2- Etat actuel de la forêt classée de Kuinima.....	7
I.3- Climat	9
I.3.1- Pluviométrie	9
I.3.2- Températures	10
I.3.3- Humidité relative, évapotranspiration potentielle (ETP) et insolation	11
I.3.4- Vents	12
I.4- Sols	13
I.5- Végétation.....	14
II- Milieu humain	15
II.1- Population.....	15
II.2- Tenure foncière	15
II.3- Activités socio-économiques.....	16
II.3.1- Agriculture	16
II.3.2- Elevage	16
II.3.3- Autres activités	17
Conclusion partielle.....	17
CHAPITRE 2 : ETAT DE L'ART SUR LA DEGRADATION, LA REHABILITATION ET LA RESTAURATION DES SOLS.....	18
I- Définition de quelques concepts clefs de l'étude	18
I.1- Sol	18
I.2- Sol dégradé	18
I.3- Fertilité des sols	18
I.4- Etat de surface	19
I.5- Sécheresse.....	19
I.6- Désertification	21
II- Facteurs déterminants de la dégradation des sols.....	22
II.1- Facteurs abiotiques	22
II.1.1- Sécheresse	22
II.1.2- Erosion	23
II.1.3- Sols et types de relief	24
II. 2- Facteurs biotiques.....	24
II.2.1- Causes liées à l'homme	24
II.2.2- Causes liées aux animaux.....	24
III- Ecologie de la restauration et de la réhabilitation des terres.....	25

III.1- La restauration	25
III.2- Réhabilitation	26
III.3- Démarche pour la réhabilitation des terres	26
III. 4 Les mécanismes de la succession végétale.....	27
IV- Techniques de réhabilitation de terres dégradées	28
IV.1- Cordons pierreux	28
IV.2- Zaï agricole	29
IV.3- Zaï forestier.....	29
V- La restauration au Burkina Faso	30
Conclusion partielle.....	33
DEUXIEME PARTIE : ETUDE PRELIMINAIRE	34
CHAPITRE 1 : SITUATION DE RÉFÉRENCE SUR LE SOL	34
I- Matériel et méthode	34
I.1- Description des états de surface.....	34
I.1.1- Description des surfaces élémentaires	34
I.1.2- Description de profil pédologique	35
I.2- Analyse de laboratoire	36
I.2.1- Paramètres physiques	37
I.2.2- Paramètres chimiques	37
II- Résultats et discussions	39
II. 1- Résultats	39
II.1.1- Surfaces élémentaires	39
II.1.2- Variation stationnelle des sols sur l'ensemble du site.....	41
II.1.3- Caractérisation physicochimique du sol.....	41
III.1.3.1- Caractérisation physique	41
III.1.3.1- Caractérisation chimique	43
II.2- Discussion	47
Conclusion partielle.....	49
CHAPITRE 2 : CARACTERISATION DE LA VEGETATION.....	50
I- Matériel et méthode	50
I.1- Inventaire de la végétation initiale.....	50
I.1.1- Mesures de paramètres	50
I.1.1.1- Paramètres dendrométriques.....	50
I.1.1.2- Données sur la vitalité des plantes.....	51
I.1.2- Paramètres évalués	51
II- Résultats et discussions	54
II.1- Résultat	54
II.1.1- Diversité floristique.....	54
II.1.2- Densité et état de la régénération	55
II.1.3- Taux de recouvrement	56
II.1.4- Structure	57
II.1.5- Stratification	58
II.1.6- Dynamique du peuplement ligneux.....	59
II.1. 7- Espèces spécifiques aux différents types de sol	60
II.2- Discussion	62
Conclusion partielle.....	63
TROISIEME PARTIE : ETUDE D'IMPACTS DES DISPOSITIFS CES/DRS	64
CHAPITRE 1 : IMPACT DES DISPOSITIFS DE CES/DRS SUR LES PROPRIÉTÉS BIOPHYSICOCHIMIQUES ET HYDRODYNAMIQUES DU SOL	64
I- Matériel et méthode	64

I. 1- Etude des propriétés physicochimiques.....	65
I. 2- Etude des propriétés biologiques	66
I. 2. 1- Etude de l'impact des différents traitements sur l'activité respiratoire du sol	66
I. 2. 2- Etude de l'impact des différents traitements sur la biomasse microbienne du sol	67
I. 3- Propriétés hydrodynamiques	67
I. 3. 1- Potentiels capillaires	67
I. 3. 2- Mesure de perméabilité par l'infiltromètre.....	67
I. 3. 2.1- Description générale	68
I. 3. 2. 2- Réalisation de mesures	68
I. 3. 2. 3- Expression des résultats	69
I. 4- Analyse des données.....	69
II- Résultats et discussions	70
II. 1- Résultats	70
II. 1. 1- Propriétés physiques.....	70
II. 1.1.1- Parcelles forestières.....	70
II. 1.1.2- Parcelles agroforestières.....	71
II. 1. 2- Propriétés chimiques	72
II. 1. 2. 1- Parcelles forestières.....	72
II. 1. 2. 2- Parcelles agroforestières.....	74
II. 1 3- Effet des traitements sur l'activité respiratoire et la biomasse microbienne du sol	78
II. 1 3. 1- Parcelles forestières.....	78
II. 1 3. 1. 1- Effet sur l'activité respiratoire.....	78
II. 1. 3. 1. 2- Effet sur la biomasse microbienne	79
II. 1. 3. 2- Parcelles agroforestières.....	80
II. 1. 3. 2.1- Effet sur l'activité respiratoire.....	80
II. 1. 3. 2.2- Effet sur la biomasse microbienne	81
II. 1.4- Propriétés hydrodynamiques	82
II. 1. 4 1- Potentiel capillaire	82
II. 1. 4 1.1- Parcelles forestières.....	82
II. 1. 4 1.2- Parcelles agroforestières.....	83
II. 1.4.2- Coefficient d'infiltration	84
II. 1.4.2.1- Parcelles forestières.....	84
II. 1.4.2.2- Parcelles agroforestières.....	84
II. 2- Discussion	85
Conclusion partielle.....	88
CHAPITRE 2 : IMPACT DES DISPOSITIFS CES/DRS SUR LA CROISSANCE, LE DEVELOPPEMENT ET LE RENDEMENT DU SORGHO	89
I- Matériel et méthode	89
I.1- Suivi des stades de développement	89
I.1.1- Comptage du nombre de poquets présentant des plants levés.....	90
I.1.2- Mesure de hauteur et comptage de feuilles des plants.....	91
I.1.3- Suivi de l'évolution de l'épiaison par traitement.....	91
I.2- Evaluation des composantes du rendement	91
I.2.1- Comptage du nombre de plants et d'épis à l'hectare (ha)	91
I.2.2- Evaluation du nombre de grains par épi et le poids des grains.....	91
I.3- Estimation des rendements	92
I.4-Evaluation des coûts de production du sorgho	92
I.5- Analyse statistique des données	92
II- Résultats et discussions	93
II.1- Résultats	93

II.1.1- Suivi des stades phénologiques	93
II.1.1.1- Nombre de poquets présentant des plants levés	93
II.1.1.2- Hauteur des plants	93
II.1.1.3- Nombre de feuilles	96
II.1.1.4- L'épiaison	96
II.1.2- Composantes du rendement	97
II.1.3- Estimation des rendements	99
II.1.3.1- Rendement grains	99
II.1.3.2- Rendement en pailles	100
II.1.3.3-Evaluation de la rentabilité financière des traitements.....	101
II.2- Discussion	102
Conclusion partielle.....	105
CHAPITRE 3 : IMPACT DES DISPOSITIFS CES/DRS SUR LA RÉGÉNÉRATION VÉGÉTALE	106
I- Matériel et méthode	106
I.1- Inventaire des ligneux	106
I.2- Inventaire des herbacées	106
I.3- Analyse des données.....	107
II- Résultats et discussions	108
II.1- Résultats	108
II.1.1- Dynamique de la strate ligneuse entre 2007 et 2010.....	108
II.1.1.1- Diversité (Richesse) floristique	108
II.1.1.2- Densité et état de la régénération	111
II.1.1.3- Recouvrement.....	112
II.1.1.4- Distribution horizontale.....	112
II.1.1.5- Stratification	113
II.1.1.6- Etat végétatif et sanitaire des ligneux.....	114
II.1.2- Dynamique de la strate herbacée entre 2008 et 2010.....	114
II.1.2.1- Comparaison floristique globale entre les traitements	114
II.1.2.1.1- Richesse spécifique herbacée	114
II.1.2.1.2- Variation de la composition floristique	116
II.1.2.1.3- Succession de la strate herbacée.....	118
II.1.2.1.4- Contribution spécifiques des espèces productrices (CS>5%)	119
II.1.2.1.5- Variation verticale de la diversité floristique	120
II.1.2.2- Structure verticale du couvert végétal	121
II.1.2.3- Production de biomasse au mètre carré	122
II.1.2.4- Capacité de charge.....	124
II.2- Discussion	124
II.2.1- Flore ligneuse	124
II.2.2- Flore herbacée	126
Conclusion partielle.....	128
DISCUSSION GENERALE	129
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	133
BIBLIOGRAPHIE	136
ANNEXES	161

RESUME

La zone Sud-soudanienne du Burkina Faso, longtemps considérée comme zone d'abondance en ressources naturelles, connaît de plus en plus une dégradation sans précédent de ses ressources naturelles liée aux changements climatiques, à la croissance démographique, à la pression notable des migrants agriculteurs et pasteurs venu du nord du pays mais aussi à des pratiques agricoles inappropriées favorisant la dégradation des sols. Un test de réhabilitation des terres dégradées y a été mené en vue d'évaluer l'efficacité des techniques CES et d'envisager leur transfert. Les travaux ont été réalisés sur deux dispositifs en bloc Fisher complètement randomisé. Les paramètres chimiques (matière organique, azote, phosphore assimilable, potassium disponible et pH eau), les paramètres biologiques (intensité respiratoire, biomasse microbienne des sols), le coefficient d'infiltration, la croissance et le rendement du sorgho et la diversité floristique ont été évalués et utilisés comme indicateurs de la bonne santé du sol. Les principaux résultats issus de l'étude montrent que les techniques CES testées ont impacté positivement les différents paramètres évalués. Sur le dispositif forestier, la Matière Organique (MO) a enregistré des hausses de l'ordre de $2,3 \text{ gkg}^{-1}$ à $6,8 \text{ gkg}^{-1}$ dans les traitements comparés au T. Le Pa et le Kd ont également connu des hausses de $1,6 \text{ mgkg}^{-1}$ à $25,13 \text{ mgkg}^{-1}$ (Pa) et de $4,2 \text{ mgkg}^{-1}$ à $216,96 \text{ mgkg}^{-1}$ (Kd) dans les traitements par rapport au T. Sur le dispositif agroforestier, la quantité de CO_2 dégagée dans le ZA est 2 fois plus élevée que celle du T. Quant à la biomasse microbienne, elle est de 5 fois celle du T. Dans le dispositif forestier, le ZF a induit une hausse significative du coefficient d'infiltration. Le ZA et le ZACP ont amélioré le développement du sorgho et ont permis d'obtenir des rendements grains respectivement 6 et 4 fois supérieurs au T en deuxième année d'aménagement. La richesse spécifique des ligneux a varié entre 2007 et 2010 de 19,51% dans le ZF, 37,5% dans le CP contre 8,33% dans le T. Pour les herbacées, le ZF a induit une hausse du nombre d'espèces de 2 fois supérieur au CP et au T dès la première année. De façon générale, on a noté une régression du nombre d'espèces annuelles et une augmentation progressive de celui des vivaces dans le ZF. Ce travail a ainsi prouvé que le zaï forestier et les cordons pierreux pourraient être appliqués en zone Sud-soudanienne pour réhabiliter les espaces forestiers, le zaï agricole et l'association zaï agricole et cordons pierreux pour gérer durablement les espaces agricoles.

Mots clefs : Caractérisation-Techniques CES-Sorghum *bicolor*-Fertilité-Infiltration-biodiversité.

ABSTRACT

The south sudanian area of Burkina Faso, long considered an important area for natural resources, has been subject to more and more degradation without precedent of its natural resources due to climatic change, demographic growth, pressure of migrant farmers and pastoralists from the north, who migrate southwards, and also due to inappropriate farming practices leading to impoverishment of the soil. A test of rehabilitation of degraded soils was carried out in order to evaluate the effectiveness of soil and water conservation (SWC) techniques and to promote sustainable management and exploitation of the natural resources. The study was carried out on two randomized Fisher blocks design. Chemical parameters (organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium, coefficient of infiltration and pH), biological parameters (respiration intensity, soil microbial biomass, sorghum growth and yield and floristic diversity) were evaluated and used as indicators of soil conditions. The main result showed that the SWS techniques had significantly positive impact on the evaluated parameters. On the forest experimental design, the organic matter increased 2.3 gkg^{-1} to 6.8 gkg^{-1} in the treatments compared with control plots. Available phosphorus and exchangeable potassium increased respectively 1.6 mgkg^{-1} to 25.13 mgkg^{-1} and of 4.2 mgkg^{-1} to 216.96 mgkg^{-1} in the treatments compared to control plots. On the agroforest experimental design, the quantity of CO_2 released in the agricultural zaï was twice as high as that of the control. As for the microbial biomass, it was multiplied by five. In the forest experimental design, the forest zaï induced a significant rise of the infiltration coefficient. It was three times higher as that of the control plot. The agricultural zaï and the zaï combined with stone-rows improved sorghum growth and allowed obtaining an output of grains that was six and four time higher, respectively, compared to the control in the second year. The specific richness of the ligneous varied between 19.51% in the forest zaï between 2007 and 2010, and 37.5% in the stone line, against 8.33% in the control. Concerning herbaceous cover, the forest zaï had twice as many species as stone line and the control from the first year. In general, we noted a regression of annual species number and a progressive increase of perennial species in the forest zaï. Thus, this study proved that forest zaï and stone-rows could be applied in the south sudanian zone to rehabilitate forestry spaces, agricultural zaï and agricultural zaï combine with stone-rows to manage agricultural spaces durably.

Key words: Characterization-SWC techniques-*Sorghum bicolor*-Fertility-Infiltration-Biodiversity.

SIGLES ET ABREVIATIONS

BE :	Bases Echangeables
BUNASOLS :	Bureau National des Sols
CC :	Capacité de Charge
CCD :	Convention Cadre des Nations Unies sur la lutte contre la
Désertification	
CEC :	Capacité d'Echange Cationique
CES/AGF :	Programme spécial de Conservation des Eaux et des Sols / Agro-foresterie
CES/DRS:	Conservation des Eaux et des Sols/Défense et Restauration des Sols
CILSS :	Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
CP :	Cordon Pierreux
CPCS :	Commission de pédologie et de cartographie des sols
CS :	Contribution Spécifique
DEC :	Décantation
Des :	Dessiccation
DMH :	Diamètre Moyen du Houppier
DVAF :	Dispositif à Vocation Agroforestier
DVF :	Dispositif à Vocation Forestière
Eol :	Eolien
ERo :	Erosion
FAO :	Food and Agriculture Organization (Organisation des nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)
FC :	Fréquence Centésimale
FLIMP :	Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés Indurés Moyennement Profond
FLIP :	Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés Indurés Profond
FLIPP :	Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés Indurés Peu Profonds
FLIS :	Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés Indurés Superficiels
FS :	Fréquence Spécifique
G :	Grossier
GGF :	Groupements de Gestion Forestière
IDR :	Institut du Développement Rural
INSD:	Institut national de la statistique et de la démographie
ISJ :	Index de Similitude de Jaccard
Kd :	Potassium disponible
LSD :	Least Significant Difference (Plus petite différence significative)
MAHRH :	Ministère de l'Agriculture de l'hydraulique et des Ressources Halieutiques
MECV :	Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie
MEE :	Ministère de l'Environnement et de l'Eau
MET :	Ministère de l'Environnement et du Tourisme
MHPS :	Micro-horizons pelliculaires de surface
MO :	Matière Organique
MOS :	Matière Organique du Sol
MS :	Matière Sèche
N:	Azote
Pa :	Phosphore assimilable
PAGREN :	Projet d'Appui à la Gestion Participative des Ressources Naturelles

PAN/LCD :	Programme d’Action National de Lutte Contre la Désertification
PANE :	Plan d’Action National pour l’Environnement
PL :	Placage
PNLCD :	Plan National de Lutte Contre la Désertification
PVC :	Polychlorure de Vinyle
RAF :	Reforme Agraire et Foncière
ROSELT/OSS :	Réseau d’Observatoires de Surveillance Ecologique à Long Terme/ Observatoire du Sahara et du Sahel
RU :	Réserve en eau Utile
Rui :	Ruisseaulement
SAS :	Semaine Après Semis
St :	Structurale
T :	Témoin
Ter :	Terricule
TTA :	Transfert de Technologie en Agriculture
UBT :	Unité Bétail Tropical
UPB :	Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso
WRB :	World Reference Base for Soil Resources (Bases des Ressources Mondiales en Sols)
ZA :	Zaï Agricole
ZACP :	Association Cordons Pierreux et Zaï Agricole
ZF :	Zaï Forestier

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photo 1: Bois de feu exploité dans la forêt classée de Kuinima.....	9
Photo 2: Illustration de quelques surfaces élémentaires	40
Photo 3 : Etat de développement du sorgho à la même date dans les différents traitements : (a) zaï agricole, (b) association zaï agricole-cordons pierreux, (c) Témoin, (d) cordons pierreux	95
Photo 4 : Effet des traitements sur la dynamique de la végétation.....	123

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Variation de l'humidité relative, de l'évapotranspiration potentielle et de l'insolation à la station synoptique de Bobo-Dioulasso, moyenne calculée sur la période 1981 - 2010 (n=30).....	12
Tableau II : Paramètres physiques des profils du dispositif à vocation agroforestière	42
Tableau III : Paramètres physiques des profils du dispositif à vocation forestière	43
Tableau IV : Paramètres chimiques des profils du dispositif à vocation agroforestière	45
Tableau V : Paramètres chimiques des profils du dispositif à vocation forestière	46
Tableau VI : Densité à l'hectare des ligneux par catégorie	56
Tableau VII : Taux de recouvrement des parcelles du site d'étude	56
Tableau VIII : Dynamique du peuplement ligneux dans le dispositif à vocation forestière..	59
Tableau IX : Dynamique du peuplement ligneux dans le dispositif à vocation agroforestière.	60
Tableau X : Relation entre les différents types sol et la végétation ligneuse.....	61
Tableau XI : Variation de la texture du sol dans les parcelles forestières entre 2007 et 2009	71
Tableau XII : Variation de la texture du sol dans les parcelles agroforestières entre 2007 et 2009	72
Tableau XIII : Evolution des différents paramètres chimiques dans les parcelles forestières entre 2007 et 2009	76
Tableau XIV : Evolution des différents paramètres chimiques dans les parcelles agroforestières entre 2007 et 2009	77
Tableau XV : Potentiel capillaire et réserve utile dans le dispositif forestier	83
Tableau XVI : Potentiel capillaire et réserve utile dans le dispositif agroforestier	83
Tableau XVII : Etat de levée du sorgho	93
Tableau XVIII : Variation des composantes du rendement	98
Tableau XIX : Evaluation économique des traitements	102
Tableau XX : Similitude entre les traitements	111
Tableau XXI : Etat végétatif et sanitaire du peuplement ligneux.....	114
Tableau XXII : Dynamique des espèces productives entre 2008 et 2010	120
Tableau XXIII : Variations interannuelles de la production en matière sèche (g MS/m ²)... 123	
Tableau XXIV : Capacité de charge des différents traitements (UBT/ha/an).	124

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation de la forêt classée de Kuinima	7
Figure 2 : Carte d'occupation des terres de la forêt classée de Kuinima	8
Figure 3: Evolution de la pluviométrie au cours des quinze dernières années à Farako-Bâ (1996-2010).....	10
Figure 4: Courbe ombrothermique des quinze dernières années à Bobo-Dioulasso (1996-2010 station de Farako-Bâ)	11
Figure 5: Variation de la vitesse du vent à la station synoptique de Bobo-Dioulasso, moyenne calculée sur la période 1981 - 2010 (n=30).....	13
Figure 6 : Carte des domaines phytogéographiques du Burkina Faso	14
Figure 7 : Démarche pour la réhabilitation des sols dégradés (Zombré, 2003).	27
Figure 8: Carte des zones potentielles de pratique de CES au Burkina (Source : Zombré, 2003).....	32
Figure 9 : Schéma des deux dispositifs pour la description des états de surface.	36
Figure 10 : représentativité des différents états de surface sur le site.....	40
Figure 11 : Spectre biologique du dispositif à vocation forestière.....	54
Figure 12 : Spectre biologique du dispositif à vocation agroforestière.....	54
Figure 13 : Structure du peuplement ligneux du dispositif à vocation agroforestière	57
Figure 14 : Structure du peuplement ligneux du dispositif à vocation forestières	58
Figure 15 : Stratification de la végétation ligneuse du dispositif à vocation forestières.....	58
Figure 16: Stratification de la végétation ligneuse du dispositif à vocation agroforestière	59
CP= cordons pierreux; ZF= zaï forestier; T= témoin.....	64
Figure 17: Dispositif expérimental forestier.	64
Figure 18 : Dispositif experimental agroforestier	65
Figure 19 : Distribtions des points de prélèvement des échantillons de sol au niveau de la parcelle.	66
Figure 20 : Schéma du principe de l'infiltromètre double anneau	68
Figure 21: Evolution de la production cumulée de CO ₂ dégagé en fonction des traitements et du temps	78
Figure 22 : Effet des traitements sur le dégagement cumulé de CO ₂ (en mg C/100g de sol) après 14 jours d'incubation des sols.....	79
Figure 23: Effet de l'application des traitements sur la biomasse microbienne des sols (en mg C/100g de sol).	79
Figure 24: Production cumulée de CO ₂ dégagé en fonction des traitements et du temps d'incubation.....	80
Figure 25: Effet des traitements sur le dégagement cumulé de CO ₂ (en mg C/100g de sol) après 14 jours d'incubation des sols.....	81
Figure 26: Effet des traitements sur la biomasse microbienne des sols (en mg C/100g de sol).	82
Figure 27: Evolution du coefficient d'infiltration en fonction des traitements.....	84
Figure 28 : Evolution du coefficient d'infiltration en fonction des traitements	85
Figure 29 : Distribution des carrés de rendement dans les parcelles zaï et témoins	90
Figure 30 : Distribution des carrés de rendement dans les parcelles de cordons pierreux.....	90
Figure 31: Stade de développement du sorgho.....	95
Figure 32: Evolution du nombre de feuilles	96
Figure 33: Evolution du taux d'épiaison	97
Figure 34: Variation de la production du sorgho de 2008 à 2010	99
Figure 35: Corrélation entre la production en grains et le phosphore assimilable.....	100
Figure 36: Evolution de la production en pailles de 2008 à 2010	101

Figure 37: Corrélation entre la production en paille et le phosphore assimilable.....	101
Figure 38 : Spectres floristiques des différents traitements	110
Figure 39 : Densité de la régénération (a) et des individus adultes (b).....	111
Figure 40: Recouvrement de la végétation ligneuse	112
Figure 41 : Distribution en classe de diamètre de la végétation ligneuse	113
Figure 42: Stratification de la végétation ligneuse	113
Figure 43 : Spectres floristiques herbacés au niveau des traitements : zaï forestier (c), cordon pierreux (b) et du témoin (a).	116
Figure 44a: Variation du nombre d'espèces des différents traitements	117
Figure 44b: Variation de l'indice de similitude de Jaccard entre flore herbacée des traitements	118
Figure 45 : Evolution du nombre d'espèces annuelles (a) et pérennes (b) par traitement	119
Figure 46: Evolution verticale de la diversité floristique.....	121
Figure 47: Comparaison de la structure verticale des herbacées dans les différents traitements	122

INTRODUCTION GENERALE

Depuis les années 1970, les ressources naturelles qui constituent le capital de base pour la production de tous les pays de l’Afrique de l’Ouest, subissent une intense dégradation suite à des facteurs d’ordre physique, agro-climatique et/ou anthropique (FAO, 1990 ; MECV, 2004 ; Rognon, 2007 ; Gomgnimbou et *al.*, 2010). En effet, les sécheresses récurrentes, la pratique d’une agriculture extensive et l’accroissement démographique, qui a entraîné une surexploitation des terres en sont les raisons fondamentales (Kawtar et *al.*, 2004 ; Ræbild et *al.*, 2007 ; Ouattara, 2009 ; Diallo et *al.*, 2011 ; Hakizimana et *al.*, 2011 ; Traoré et *al.*, 2012). Selon la FAO, entre les années 1990 et 1995, l’Afrique a été caractérisée par un taux annuel de déforestation de l’ordre de 0,7% soit plus du double de la moyenne mondiale (FAO, 2003). Gomgnimbou et *al.* 2010 notaient que plus de 65% des terres agricoles africaines étaient dégradées suite aux activités humaines.

Cependant, si la question de la dégradation et de la perte de la fertilité des sols est ressentie presque partout en Afrique, il ressort de beaucoup d’études qu’elle est plus accentuée dans les pays sahéliens comme le Burkina Faso (Ganaba, 2008 ; Kiéma, 2008 ; CILSS, 2010 ; Ouédraogo et *al.*, 2010).

En effet, de 1980 à 1992, les superficies des formations forestières au Burkina Faso ont régressé de 1,26 millions d’hectares, passant de 15,42 millions d’hectares en 1980 à 15,18 millions d’hectares en 1983, puis à 14,16 millions d’hectares en 1992 (MEE, 1996). Ces données reflètent très bien l’importance de la régression générale des superficies forestières, estimée à environ 105.000 hectares par an (MEE, 1996).

Face à cette situation, le Burkina Faso et d’autres pays sahéliens au sein d’institutions sous-régionales, notamment le Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS), ont développé des initiatives pour lutter contre la dégradation des sols, la baisse de la productivité des terres et la détérioration de l’environnement. Parmi elles, on peut citer la lutte contre l’érosion et l’adoption de meilleures techniques d’exploitation des terres. En sus de ces actions inter étatiques, chaque pays a développé des techniques de Conservation des Eaux et des Sols et de Défense et Restauration des Sols (CES/DRS) afin de lutter contre la dégradation des sols, de conserver les eaux et d’améliorer la productivité des terres. Plusieurs auteurs ont ainsi prouvé l’effet récupérateur de ces techniques au Burkina Faso et ailleurs

dans le monde. Les études y relative ont été abordées sous plusieurs angles. Ainsi, Reij et al. (1996) et Roose et al. (1993) qui ont travaillé sur le zaï dans la région soudano-sahélienne du Burkina Faso ont prouvé que cette technique permettait d'augmenter substantiellement la production en grain et en paille du sorgho et réintroduisait une grande diversité de plantes utiles pour relancer les processus naturels de restauration des sols par la jachère. Zougmoré et al. (2003a) ont montré que les cordons pierreux permettaient de réduire le ruissellement de 59 à 84% et accroissaient le rendement du sorgho de 142% en zone semi aride du Burkina Faso. Au paravent, Zougmoré et al. (2000) avaient prouvé que l'espacement de 25 à 33 m entre les lignes de cordon pierreux sur des terrains dont la pente varie entre 1-3%, réduisait considérablement le ruissellement et doublait le rendement du sorgho. Les mêmes auteurs, ont montré que la construction des cordons pierreux réduisait la perte du sol par l'érosion hydrique de 84% dans le plateau central (Zougmoré et al., 2009). Nos précédents travaux ont montré qu'en 5 années d'aménagement, le zaï forestier entraînait une augmentation de la richesse spécifique des ligneux de 16% et les cordons pierreux de 26%. La densité des ligneux quant à elle s'était accrue de 160% pour le zaï forestier et de 173% pour les cordons pierreux (Yaméogo, 2006). Dans le sahel du Burkina Faso, Kiéma (2008) a montré que les cordons pierreux permettaient de doubler le nombre d'espèces herbacées et de multiplier par 4 la phytomasse herbacée. Dans la zone semi-aride du Kenya, des études ont prouvé que l'amendement organique et le paillage avaient un effet bénéfique sur le bilan hydrique du sol et la croissance du maïs (Gicheru et al., 2004). Au Liban, Khater et Arnaud (2007) ont trouvé que l'utilisation des barrières de moellons dans la restauration écologique des carrières permettait de réintroduire 27 espèces annuelles et rudérales.

Dans la partie sud-soudanienne du Burkina Faso, l'efficacité des CES/DRS est très peu connue. En outre la cartographie des zones potentielles de pratique de CES/DRS au Burkina faite par Zombré (2003) ne mentionne pas cette zone comme zone potentielle de praticabilité des mesures CES/DRS, à cause de sa relative richesse en ressources naturelles et de son climat. Elle connaît de plus en plus une dégradation sans précédent de son environnement liée aux changements climatiques et aux évolutions sociales et démographiques.

Ainsi, selon le *Rapport sur l'Etat de l'Environnement au Burkina Faso* (2004), dans le domaine soudanien, on constate la disparition de populations entières d'espèces du fait des défrichements, de l'exploitation systématique et non rationnelle de certaines espèces pour les besoins de bois de feu et de service telles *Afzelia africana* Smith ex Pers., la raréfaction des

espèces et des populations dans les parcs agroforestiers à *Parkia biglobosa* (Jacq) R. Br. ex G. Don, *Vitellaria paradoxa* Gaertn. F., *Tamarindus indica* L., *Lannea microcarpa* Engl. et K. Krause, *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst., etc. La réduction de la durée des jachères accentue ces phénomènes.

La présente étude est conduite au niveau du bassin versant du Kou. Ce bassin à une superficie de 1 821 km², et intègre entre autres les forêts classées de Dindéresso, du Kou, de Kua et de Kuinima. Cette zone est reconnue comme périmètre de protection des ressources en eau potable de la ville de Bobo-Dioulasso. Ce bassin est l'espace géographique qui contient le système d'eau associé à la rivière Kou, à ses affluents et aux sources de Nasso. Il n'échappe pas au phénomène de dégradation et devrait par conséquent bénéficier d'une protection à même d'assurer une pérennisation de la ressource eau. Les populations vivant dans ce bassin versant sont à majorité agriculteurs (85%) et tirent leur subsistance de leurs cultures et de la forêt. Cette dernière est transformée en champs de culture ou est dévastée afin de ravitailler la ville de Bobo-Dioulasso en bois-énergie, en charbon de bois ou en bois de service. Le taux d'occupation et de dégradation de la forêt classée de Kuinima est estimé à plus de 90% (Bonnet et al., 1999). Cette forêt ne respecte plus les normes d'une forêt classée. En effet, une partie de la forêt a été rétrocédée aux agriculteurs et un contrat de bail lie les agriculteurs et les groupements de gestion forestière (GGF). Ce contrat stipulerait que chaque producteur devrait épargner 100 pieds d'espèce ligneuse à l'hectare. Ainsi, le constat que l'on fait maintenant dans cette forêt est que la partie rétrocédée a plus une physionomie forestière que la partie non rétrocédée. Il est actuellement difficile de trouver un arbre de diamètre supérieur à 5 cm dans la partie non rétrocédée parce qu'il n'y a aucune surveillance pour protégée la forêt des coupes.

Par ailleurs, plusieurs études (Barry et al., 1983 ; Grouzis, 1988 ; Fontes et Guinko, 1995 ; Bonnet et al., 1999 ; Benbrahim et al., 2004 ; Niang et al., 2004 ; Sultan et al., 2008) ont montré que les effets conjugués de la pression anthropique croissante sur les ressources naturelles et les changements climatiques engendrent des dysfonctionnements des écosystèmes. Cela conduit à la régression des massifs forestiers, à la diminution de la disponibilité des ressources en eau et leur pollution, et à la dégradation des parcours et des sols, pouvant être à l'origine de la désertification et de la disparition de certaines espèces animales et végétales.

Cette étude vise à tester *in situ* et dans les conditions pédo-climatiques du domaine sud soudanien (pluviosité moyenne de 1000 mm) et dans une zone en dégradation, des techniques de conservation des eaux et des sols éprouvées au nord (pluviosité moyenne de 400- 600 mm). Cette étude n'est cependant que expérimentale et pourrait être validée et conduite à plus grande échelle pour restaurer le bassin-versant du Kou si les résultats sont probants. Ainsi, l'impact sur la réhabilitation des terres est appréhendé à travers des études scientifiques sur les propriétés hydrodynamiques des sols, l'amélioration des propriétés physico-chimiques et biologiques et l'amélioration de la productivité des sols et la régénération forestière.

L'objectif général de ce travail est donc de tester l'efficacité des techniques CES/DRS dans la récupération des terres dégradées en zone sud-soudanienne. Ceci a été motivé par le fait que notre étude sur les caractéristiques physiques du milieu a montré des possibilités d'application des techniques CES/DRS (Yaméogo et al., 2009). Les techniques utilisées ici sont les cordons pierreux, le zaï (forestier et agricole) et une combinaison du zaï agricole et de cordons pierreux.

L'étude vise les objectifs spécifiques suivants:

- suivre sur trois (03) ans l'impact des techniques CES/DRS testées sur la réhabilitation des terres dégradées (l'évolution des propriétés physiques, biochimiques et hydrodynamique),
- évaluer l'impact des techniques CES/DRS sur la croissance et le rendement du sorgho,
- évaluer la rentabilité économique des techniques CES/DRS testées,
- suivre l'impact des techniques CES/DRS sur la dynamique de la végétation.

Pour l'atteinte de nos objectifs nous avons vérifié les hypothèses suivantes:

- les techniques CES/DRS peuvent être adaptées aux conditions agro-pedoclimatiques de la zone sud soudanienne,
- les paramètres biophysico-chimiques évoluent avec l'application des techniques CES/DRS,
- l'application des techniques CES/DRS dans les conditions agro-pédoclimatique de la zone sud soudanienne permet d'améliorer la croissance et le rendement du sorgho,
- les techniques CES/DRS testées sont économiquement rentables en zone sud soudanienne,
- le couvert végétal se reconstitue avec l'application des techniques CES/DRS.

Le présent rapport comprend trois parties :

- la première partie fait une présentation du milieu d'étude et l'état de l'art sur la dégradation, la réhabilitation et la restauration des sols,
- la deuxième partie présente une caractérisation initiale du site d'étude avant les aménagements,
- la troisième partie met en exergue l'impact des techniques de CES/DRS sur les propriétés biophysico-chimiques du sol, le rendement du sorgho et l'évolution de la végétation.

**PREMIERE PARTIE : SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE**

CHAPITRE I : CADRE DE L'ETUDE

Ce chapitre traite du cadre qui a accueilli les travaux de cette thèse. Il décrit le cadre biophysique, humain et l'état actuel de certaines ressources naturelles, qui portent souvent la marque d'actions anthropiques dans un environnement en mutation ou en perpétuelle évolution.

I- Milieu biophysique

I.1- Situation géographique de la Forêt classée de Kuinima

La forêt classée de Kuinima qui abrite cette étude, est située au sud de la ville de Bobo-Dioulasso entre 11°03 et 11°7 latitude Nord et 04°19 et 04°36 longitude Ouest. Elle est riveraine des secteurs 6 (Kuinima), 17 et 19 de ladite ville et des villages de Kouakoualé, de Dingasso et de Farakoba (**Fig. 1**). Selon l'arrêté de classement en date du 20 novembre 1935, elle avait une superficie de 4000 ha. Actuellement elle ne couvre qu'une superficie de 2150 ha ; une partie ayant été déclassée le 31 mai 1947.

Selon Noula (2006), au classement, le peuplement forestier était caractérisé par une savane arborée où abondaient des espèces telles que *Uapaca togoensis* Sax, *Afzelia africana* Smith. ex Pers., *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. et Dalz, *Khaya senegalensis* CA. Jus, *Isoberlinia doka* Craib. et Staph., *Detarium microcarpum* Guill. et Perr., *Combretum spp* et *Vitellaria paradoxa* (Gaertn. F.) Heppr. Selon le même auteur, avec l'exploitation abusive de ces ressources forestières, la plupart des espèces sont en voie de disparition. En exemple, *Vitellaria paradoxa* en régénération représente 51,66% des espèces, *Combretum spp* en régénération 7,45%, *Detarium microcarpum* en régénération 7,14%, *Detarium microcarpum* 1,22% et *Daniellia oliveri* 0,22%. *Uapaca togoensis* a presque disparue.

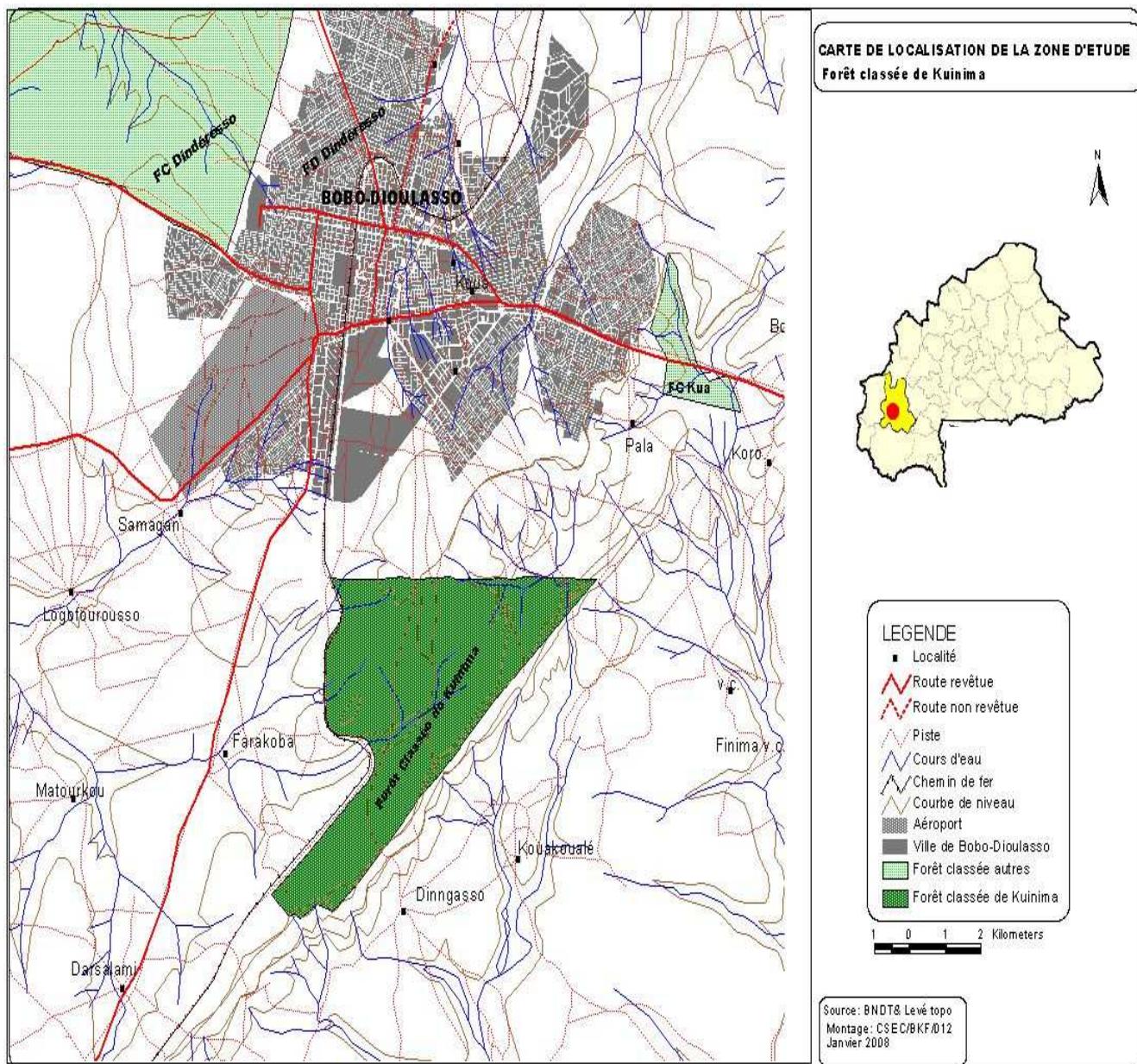


Figure 1 : Carte de localisation de la forêt classée de Kuinima

I.2- Etat actuel de la forêt classée de Kuinima

La loi 006/97/ADP portant code forestier au Burkina Faso définit la forêt classée comme étant «un espace circonscrit, qui fait l'objet d'un acte de classement dans le but d'intérêt général national ou local et soumis à un régime spécial restrictif concernant l'exercice des droits d'usage et les régimes d'exploitation», (M.E.E. 1996).

De la carte d'occupation des forêts réalisée en décembre 2010 (**Fig. 2**), il ressort que sur les 2150 ha de la forêt classée de Kuinima, 34% sont occupées par des champs, 4% par des jachères et 1% par des plantations et des vergers.

L'ensemble de la forêt reste soumise à l'exploitation du bois de feux (**Photo. 1**), du charbon de bois, aux feux de brousses et au pâturage. Ces actions anthropiques en fragmentant le paysage d'ensemble ont fragilisé l'ensemble de l'écosystème forestier et créé ainsi des poches propices aussi bien à l'érosion du sol qu'à celle de la biodiversité.

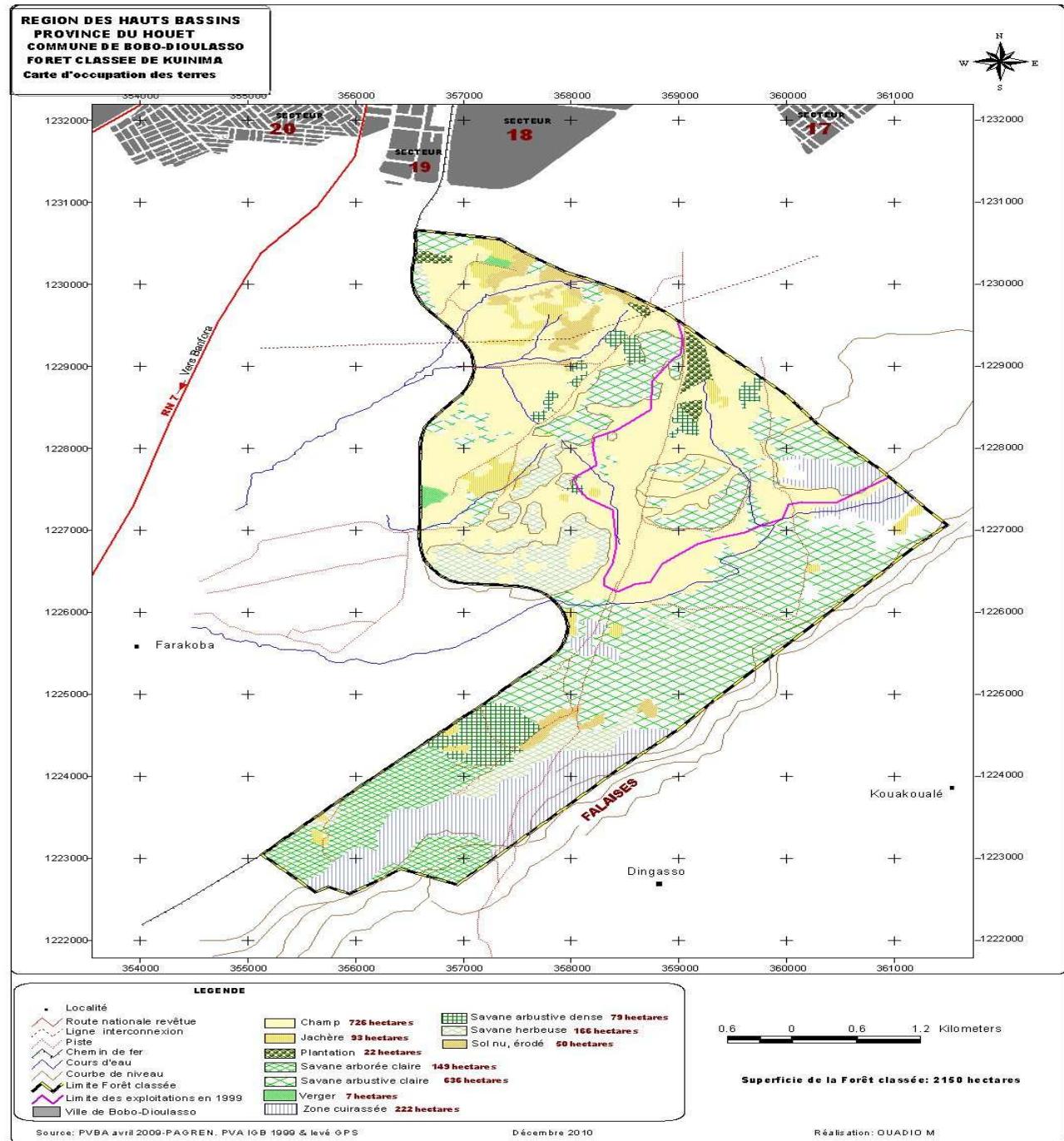


Figure 2: Carte d'occupation des terres de la forêt classée de Kuinima



Cliché : Yaméogo T. J, novembre 2008

Photo 1: Bois de feu exploité dans la forêt classée de Kuinima

I.3- Climat

Selon le découpage des zones climatiques, réalisé par Guinko (1984) et Fontes et Guinko (1995), la zone d'étude se situe dans le secteur Sud soudanien. Ce secteur est caractérisé par l'alternance de deux saisons fortement contrastées :

- une saison de pluies généralement de mai à octobre (6 mois) et,
- une saison sèche de novembre à avril (6 mois).

La dernière saison est scindée en une saison sèche et fraîche de décembre à février et en une saison sèche et chaude à partir de mars. D'une manière générale, on note que le climat joue un rôle prépondérant sur la vie des plantes, tant par la pluviosité, la température, que par les vents.

I.3.1- Pluvirosité

Les données pluviométriques de la station de recherche de Farakoba, située à 1,5 Km du site ont été utilisées pour l'analyse de la pluviométrie. Leurs évolutions pendant les quinze dernières années (1996-2010) sont représentées sur la **figure 3**.

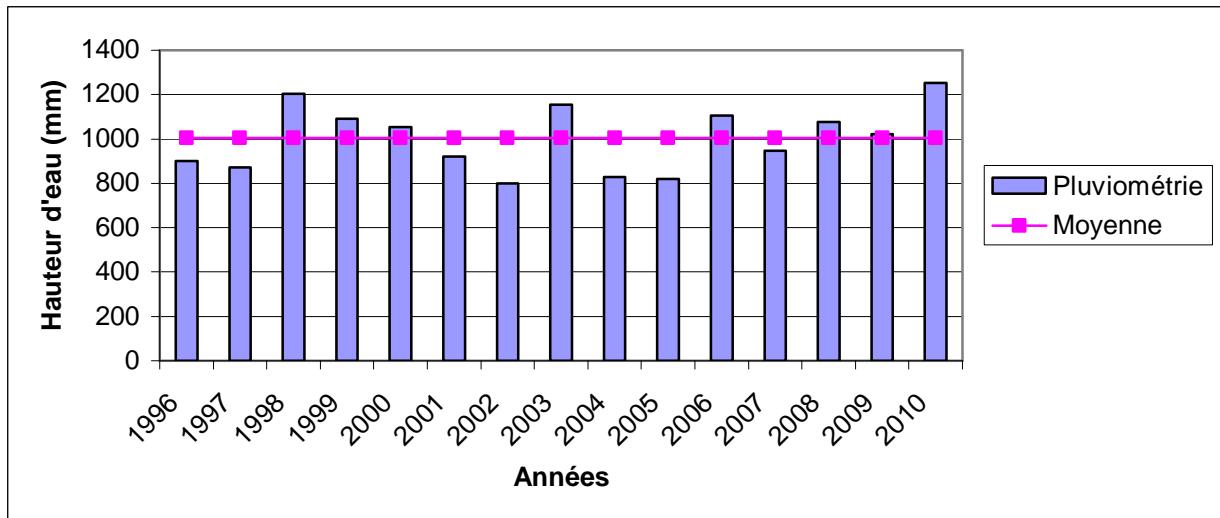


Figure 3: Evolution de la pluviométrie au cours des quinze dernières années à Farako-Bâ (1996-2010)

A l'instar du reste du Burkina Faso, la pluviométrie de la région connaît une remarquable variabilité lorsque l'on passe d'une année à l'autre. La moyenne interannuelle des précipitations est de 1000 mm. Dans la localité, l'année la plus pluvieuse est 2010 avec 1254 mm d'eau tombée et l'année la plus déficiente a été 2002 avec 800 mm d'eau tombée. Cette variabilité pluviométrique a une incidence sur la régénération des populations ligneuses qui est dépendante des conditions climatiques dont la pluviométrie. Selon Toutain et Piot (1980), la survie de la régénération ne se fait pas de façon régulière mais presque seulement à l'occasion d'une suite d'années favorables. Toutes les trois années d'expérimentation (2008 ; 2009 et 2010) ont enregistré des hauteurs d'eau tombées supérieures à la moyenne.

I.3.2- Températures

La température joue un rôle important sur la croissance et le développement des végétaux en régions tropicales (Sherman, 1982 *in* Doulkoum, 2000). A la station de Farako-Bâ, les températures sont variables selon les saisons et les mois et d'une année à l'autre.

Les écarts thermiques annuels sont en général faibles alors que ceux mensuels sont assez nets et permettent de définir quatre périodes dans l'année :

- une période relativement fraîche avec une température moyenne de 20 °C pouvant atteindre 18 °C en décembre et allant de décembre à janvier,
- une période chaude avec une température moyenne de 29 °C pouvant dépasser 35 °C en avril et allant de février à juin,

- une seconde période fraîche correspondant à la saison pluvieuse et allant de juillet à septembre où les températures oscillent entre 25 et 26 °C,
- une seconde période de chaleur correspondant à la fin de la saison pluvieuse, d'octobre à novembre, avec une température moyenne de 27 °C.

La **figure 4** donne le diagramme ombrothermique de la région. Dans cette construction les mois secs ont la valeur de $P < 2T$, selon GausSEN (Mahamane, 2005). A partir de cette définition les mois secs sont : novembre, décembre, janvier, février, mars et avril.

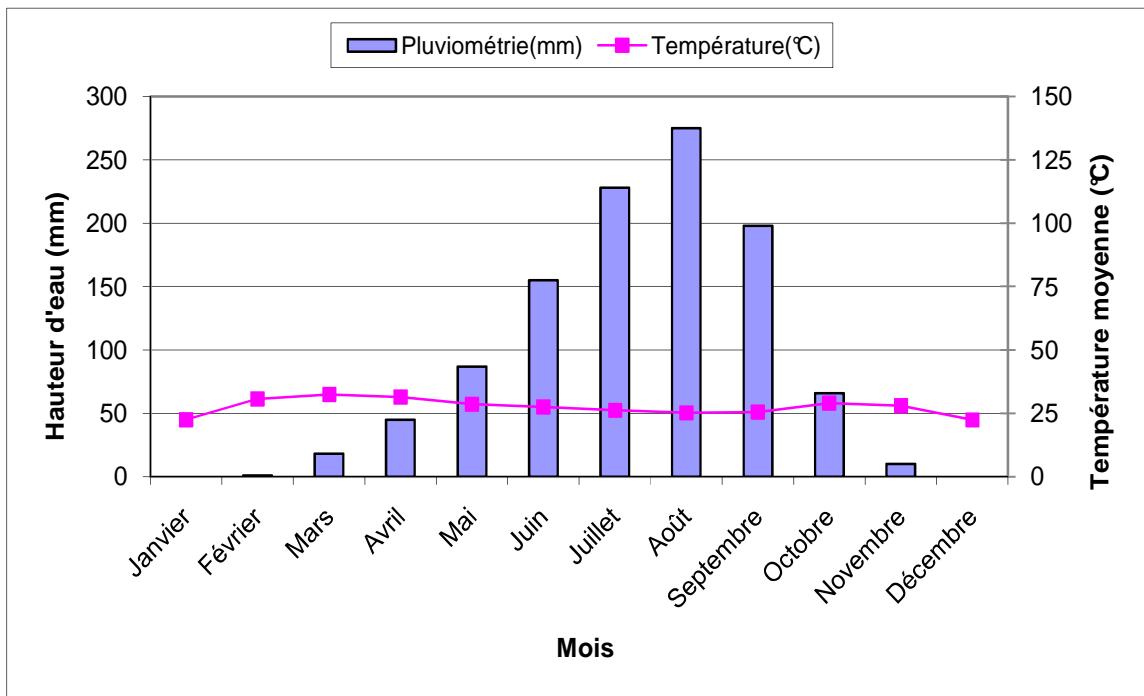


Figure 4: Courbe ombrothermique des quinze dernières années à Bobo-Dioulasso (1996-2010 station de Farako-Bâ)

I.3.3- Humidité relative, évapotranspiration potentielle (ETP) et insolation

Les valeurs les plus élevées de l'humidité relative sont enregistrée en août (97%) et les valeurs les plus faibles en février (32%). L'évapotranspiration est maximale au mois de mars (198,8 mm). Après cette période, elle diminue régulièrement et parallèlement à l'augmentation de l'humidité atmosphérique (**tableau 1**). Elle atteint sa plus faible valeur en août (125,9 mm), en saison des pluies. En octobre, avec la diminution de la fréquence et de l'importance des pluies, l'ETP augmente rapidement jusqu'à 159,4 mm. Dans le mois de juillet, août et septembre, avec la fréquence et l'importance des pluies, le soleil apparaît peu, l'hygrométrie s'élève et l'ETP baisse. Cette période correspond à la phase active de végétation pour la plupart des plantes. A partir du mois d'octobre l'insolation augmentation,

l'atmosphère s'assèche et l'ETP s'augmente et atteint ses plus grandes valeurs vers janvier-février où les arbres perdent leurs feuilles et les herbacées se dessèchent. Comme déjà constaté par Mahamane et *al.* (2007), en plus de l'humidité relative, l'insolation et l'ETP joueraient un important rôle dans la phénologie des plantes.

Tableau I : Variation de l'humidité relative, de l'évapotranspiration potentielle et de l'insolation à la station synoptique de Bobo-Dioulasso, moyenne calculée sur la période 1981 - 2010 (n=30)

Mois	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	JUIL	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Humidité relative (%)	33	32	47	72	84	91	95	97	96	90	66	41
ETP (mm)	193,9	187,6	198,8	188,4	181,1	150,8	136	125,9	131,2	159,4	167,6	184,3
Insolation (H)	8,4	8,3	7,4	7,2	7,7	7,3	6,3	5,6	6,6	8,1	8,7	8,3

I.3.4- Vents

Le vent est un facteur qui favorise la pollinisation et la dispersion des semences des végétaux. Il a une action directe sur la répartition des végétaux aussi bien ligneux qu'herbacés.

Le régime des moussons s'établit toujours d'avril à octobre et détermine la saison pluvieuse car la quasi-totalité des pluies, dans une année, tombe pendant cette période. C'est un vent frais et chargé d'humidité venant du golf de Guinée. Ce vent souffle dans la direction Sud-ouest avec une vitesse moyenne variant entre 2,2 et 3,5 m/s (**Fig. 5**).

L'harmattan est un vent continental chaud et desséchant venant du secteur Nord-est (Sahara). Ce vent souffle pendant toute la période sèche de l'année de novembre à avril. Sa vitesse moyenne varie de 2 à 2,9 m/s. Le sol étant sec et dénudé en cette période de l'année, ce vent est le principal responsable de l'érosion éolienne.

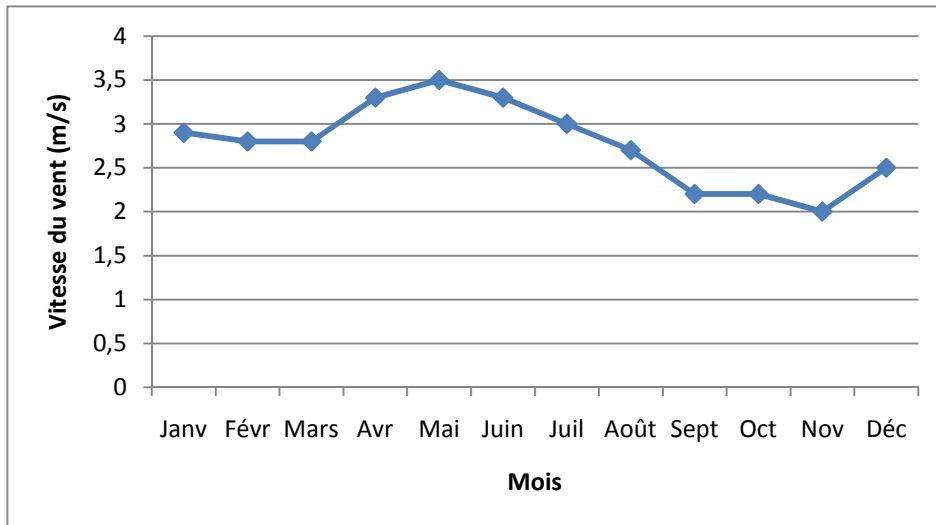


Figure 5: Variation de la vitesse du vent à la station synoptique de Bobo-Dioulasso, moyenne calculée sur la période 1981 - 2010 (n=30)

I.4- Sols

Des études de reconnaissances pédologiques réalisées par Leprun et Moreau (1969) au 1/500000 permettent de distinguer trois principales associations de sols dans la région :

- les sols peu évolués d'érosion sur matériaux gravillonnaires, en association avec les Leptosols (classification WRB) sur cuirasse ferrugineuse,
- les sols ferrugineux tropicaux sur matériaux sablo-argileux (Lixisols) à argilo-sableux (Luvisols), associés à des sols hydromorphes à pseudogley, à taches et à concréctions sur matériaux limono-argileux. Cette association se localise entre la plaine alluviale et le glacis cuirassé. Ce sont des sols argileux à pseudogley dès 20 cm de profondeur. L'engorgement ne s'intensifie que vers 1 m de profondeur,
- les sols ferralitiques faiblement à moyennement désaturés (Ferralsols, selon la classification WRB) et souvent associés aux lixisols, occupant la partie supérieure des versants. Ils sont profonds, bien drainés, chimiquement pauvres, mais homogènes. Sols à faible pouvoir tampon, ils sont sensibles à l'acidification consécutive à l'utilisation exclusive des engrains minéraux.

I.5- Végétation

Le découpage phytogéographique du Burkina réalisé par Fontes et Guinko (1995) situe la zone ouest dans le secteur sud soudanien (**Fig. 6**). Ce secteur est l'aire des savanes herbeuses, des forêts claires et des savanes boisées à *Isobernia doka*. Cette espèce très caractéristique, signe la limite entre les deux secteurs phytogéographiques soudaniens du Burkina, nord et sud soudaniens. Le secteur sud soudanien représente environ 32,4 % du territoire national et comporte les formations forestières les plus denses du pays.

Les espèces ligneuses les plus fréquemment rencontrées sont : *Daniellia Oliveri*, *Afzelia africana*, *Isoberlinia doka*, *Pterocarpus erinaceus* Poir., *Prosopis africana* Taub., *Parkia biglobosa* R. BC. ex G. Don., *Burkea africana* Hook. F et *Albizia chevalieri*.

La strate herbacée très abondante, est dominée par *Andropogon gayanus* Kunth, *Andropogon pseudapricus* Stapf., *Andropogon fastigiatus* Sw., *Hyparrhenia spp*, *Schysachyrium sanguineum* (Retz) Alston., *Ctenium newtonii* Hack., *Pennisetum pedicellatum* Trin., etc.

C'est également un secteur qui est régulièrement traversé par des feux de brousse qui sont une caractéristique liée aux régions de savanes.

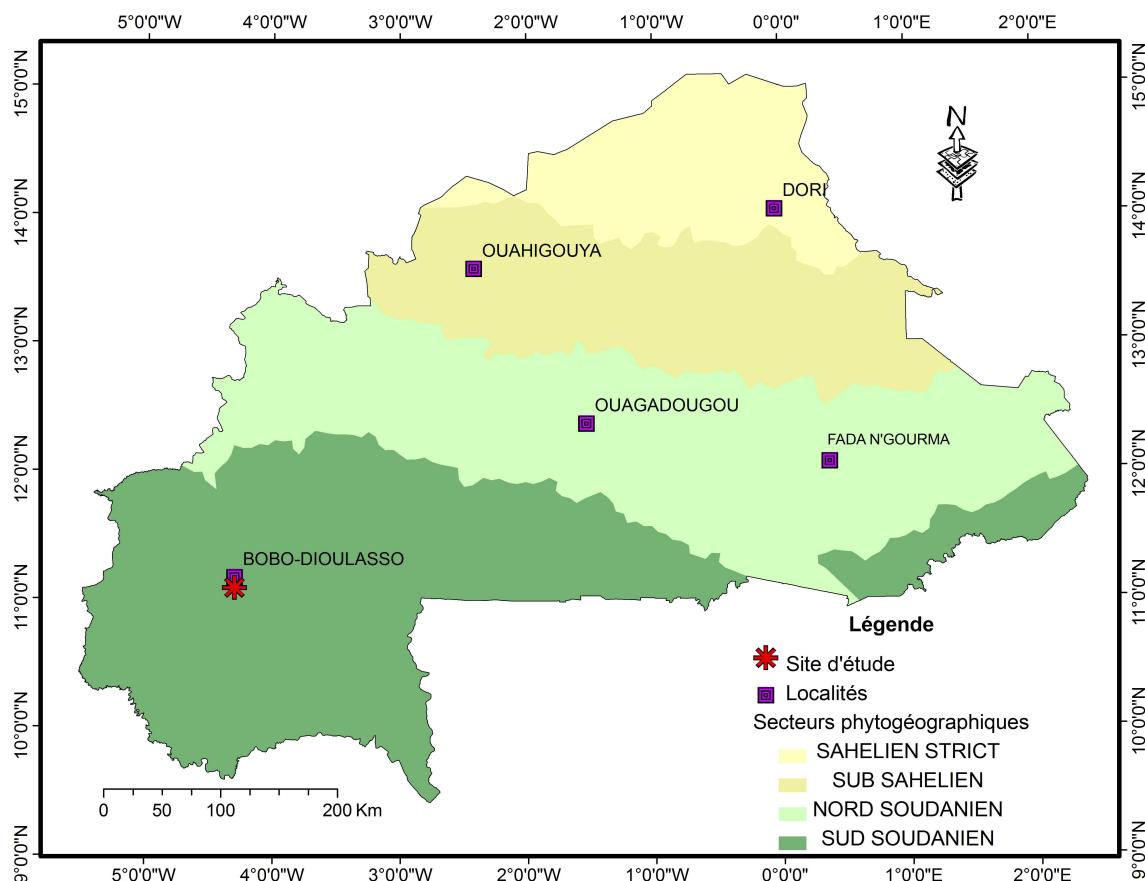


Figure 6 : Carte des domaines phytogéographiques du Burkina Faso

II- Milieu humain

II.1- Population

La population de la ville de Bobo-Dioulasso est estimée à environ 489 967 habitants (INSD, 2007). La proportion brute des actifs était estimée à 47% en 2007 par l'INSD. C'est une population composée de plusieurs groupes ethniques divisés en deux catégories:

Les autochtones, constitués principalement de *Bobo*, *Bwaba*, *Tiepho* et *Sénoufo* représentent environ 64% de la population. Les allochtones estimés à environ 35,1% sont constitués de *Peulhs*, *Dogon*, *Samogo* et de *Mossé* qui comptent le plus grand pourcentage avec 22,3% de la population totale (Dembélé, 2006). Le flux migratoire est des plus importants du pays. En effet la région reçoit les populations migrantes venant du centre et du nord du pays vers les zones agricoles où l'agriculture est propice. Au cours de ces dernières années on a enregistré un retour massif des burkinabés de la Côte d'Ivoire dû à la crise dans ce pays. Avec un taux d'accroissement de 7,23%, cette population est constituée de 52% de femmes. Dans les zones périurbaines et rurales, l'activité principale des femmes dès la fin de saison pluvieuse est la coupe de bois de feu. Elles sont souvent les premières à mettre le feu à la forêt généralement dans le mois de novembre pour pouvoir s'adonner à la coupe du bois. Ce bois sert à ravitailler la ville de Bobo-Dioulasso en bois énergie.

II.2- Tenure foncière

Le foncier est l'ensemble particulier des rapports sociaux ayant pour support la terre ou l'espace territorial. La tenure foncière est d'une extrême importance en ce qui concerne l'aménagement des forêts. Dans la zone d'étude, la gestion du foncier en milieu rural relevait des régimes coutumiers traditionnels. Mais de nos jours la tendance est de plus en plus à l'application des dispositions prises par la RAF en 2008 (Ouattara, 2010). Les transactions foncières sont surtout dominées par la vente des terres pour les activités agricoles. Les prêts, les baux ou legs et l'héritage sont de plus en plus rares ces dernières années. Ainsi, apparaissent de nouveaux propriétaires terriens qui disposent des titres fonciers et emploient les autochtones comme des ouvriers agricoles. La conséquence de cette nouvelle forme de gestion des terres est l'envahissement des domaines publics par les populations à la recherche du nécessaire pour survivre. La pression anthropique sur les ressources forestières devient donc de plus en plus croissante.

II.3- Activités socio-économiques

II.3.1- Agriculture

C'est l'activité principale de la zone, elle emploie environ 75% des actifs de la région et constitue la principale source de revenus pour les populations rurales. C'est une agriculture de type extensif. Faiblement mécanisée, elle utilise peu d'intrants agricoles. Les principales productions sont basées sur les cultures vivrières, de rente et l'arboriculture. L'attelage et la traction motorisée prend un peu plus d'essor dans la zone et oblige les paysans à observer certains itinéraires techniques : semis en ligne, amendement minéral et organique et dans une moindre mesure l'utilisation des ressources agro minérales (Burkina phosphate et dolomie), la réalisation d'ouvrage d'accompagnement des différents amendements comme les fosses fumières. Pour les cultures vivrières, les spéculations sont : le maïs (*Zea mays*), le sorgho (*Sorghum bicolor*), le fonio (*Digitaria exilis*) et le riz (*Oriza sativa*). Les activités agricoles sont essentiellement orientées vers la satisfaction des besoins alimentaires des ménages. A Kuinima, tout le long du Houet, les membres de différents groupements villageois mènent des activités de productions maraîchères. Les spéculations qui y sont pratiquées sont nombreuses et destinées à la satisfaction des besoins de la ville de Bobo-Dioulasso en légumes.

Pour résoudre le problème de manque de terre de culture du fait de la dégradation des terres et de l'accroissement démographique, une bonne partie de la forêt classée est occupée par des champs de culture. Sédozo (2006) y a dénombré près de 400 exploitants agricoles à qui on autorise l'exploitation d'un hectare chacun avec obligation d'épargner au moins 100 pieds de ligneux. Cette pratique bien que non recommandable à l'intérieur d'une forêt classée, permet à la végétation d'avoir une meilleure physionomie par rapport au reste de la forêt. Comme cela se constate, la forêt classée de Kuinima est soumise à de fortes pressions anthropiques du fait de sa proximité avec la ville de Bobo-Dioulasso ; ce qui engendre sa forte dégradation tant au niveau de la végétation qu'au niveau des sols.

II.3.2- Elevage

L'élevage est la seconde source de revenus monétaires des paysans après le coton (Ouédraogo, 2004).

Les systèmes de production sont principalement le système pastoral et agropastoral pour le type traditionnel et le système sémi-intensif pour l'élevage à visée commerciale orienté vers l'intensification de la production laitière par la création de fermes urbaines et périurbaines. Le dernier système utilise des races améliorées à haut potentiel de production. Les races de bovin

élevées sont essentiellement les taurins, les zébus peulhs et les métis en élevage traditionnel et les Azaouak et Goudali et leurs croisements métissés de sang européen pour les élevages modernes. Les potentialités pastorales de la région sont également importantes. La région dispose de deux grandes zones pastorales aménagées du pays (Cyziet et Sidéradougou) avec une superficie totale de 292 000 hectares. En plus, il y a une forte intégration entre l'élevage et l'agriculture ; et selon Ouédraogo (2004), sa contribution au succès de la culture du coton à travers la culture attelée est évidente dans la région.

Malgré ses nombreux atouts, cet élevage, en plus de la qualité médiocre des herbages pendant la saison sèche, est confronté à l'émiéttement des aires de pâtures et à la recrudescence des conflits fonciers dans la région.

II.3.3- Autres activités

Les autres activités non moins négligeables sont surtout des activités de saison sèche. Pour la population périurbaine, ces activités concernent l'exploitation forestière, l'apiculture, l'artisanat, le commerce, l'horticulture, la maraîchiculture et la prestation de service dans les industries. Elles constituent des sources de revenus monétaires pour les ménages.

Conclusion partielle

La promiscuité de la forêt classée de Kuinima avec la ville de Bobo-Dioulasso rend sa gestion difficile du fait de la forte pression humaine pour la recherche de bois de chauffe, de produits de la pharmacopée et de produits forestiers non ligneux. Ces activités, à l'exception de la pharmacopée sont pratiquées par les femmes pour leurs propres besoins et également pour l'approvisionnement des ménages urbains. Les impacts des activités socio économiques révèlent les problèmes d'interférence ville-forêt. Ces impacts s'expriment en termes de pollutions des eaux souterraines et des eaux de surface (rivière Kou et ses affluents), d'eutrophisation des plans d'eau, de dégradation des berges du Kou et de ses bassins versants, de recrudescence de maladies hydriques, de comblement et de perte de biodiversité (diversité des espèces végétales et faunique et des écosystèmes).

Des efforts sont déployés par les autorités locales en charge de l'environnement, les autorités communales, les industriels, les riverains et le projet BKF/012-PAGREN pour épurer la forêt afin qu'elle retrouve ses fonctions et son lustre d'antan.

CHAPITRE 2 : ETAT DE L'ART SUR LA DEGRADATION, LA REHABILITATION ET LA RESTAURATION DES SOLS

I- Définition de quelques concepts clefs de l'étude

I.1- Sol

C'est la couche superficielle qui couvre l'écorce terrestre et qui est exploitable par les racines des plantes. Il joue la fonction de support et de nutrition pour les plantes. «Les propriétés chimiques, physiques et biologiques des sols leur permettent d'accomplir un certain nombre de fonctions qui sont : (i) fonction de production de biomasse, (ii) fonction de régulation et de protection de l'environnement, (iii) fonction d'habitat biologique/réserveur de gènes» (Zombré, 2003)

I.2- Sol dégradé

C'est un sol qui a perdu son aptitude culturale ou un sol peu productif qui n'arrive plus à assurer ses fonctions de support et de nutrition pour la plante. Pour Zombré (2003) un sol dégradé est un sol qui est passé à travers un ou plusieurs seuils d'irréversibilité. A ce stade, le sol ne peut plus assurer une ou plusieurs de ses fonctions. Mulders et Wiersum (1995) définissent la dégradation comme étant un processus multidimensionnel induit à la fois par des phénomènes naturels et humains, qui réduit l'actuelle et/ou la future capacité de la terre à fournir des produits utiles, provenant de systèmes spécifiques d'utilisation des terres. Comme le souligne Bousquet (1997), cette définition traduit la dégradation en termes de baisse des capacités de production, et non d'altération des caractéristiques de la terre. Pour elle, la dégradation est un processus complexe, résultant de l'enchaînement dans le temps et dans l'espace de divers processus de détérioration, cette dernière pouvant être physique, chimique ou biologique. La dégradation, d'un point de vue agronomique et écologique peut donc être considérée comme toutes les formes de changements physiques, chimiques et biologiques du sol affectant ses capacités à assurer une ou plusieurs de ses fonctions.

I.3- Fertilité des sols

La confusion trop générale entre un sol dit riche et un sol dit fertile met à nu la difficulté de définir la fertilité des sols. Pour le pédologue la fertilité des sols est en liaison avec la

pédogenèse. Quant au chimiste, il s'intéresse surtout à la composition chimique du sol tandis que le biologiste apprécie la fertilité du sol au regard de l'intensité de l'activité biologique de ce dernier. Ces trois approches de la notion de la fertilité des sols ont montré la nécessité de rechercher une définition de la fertilité des sols qui soit acceptée aussi bien par les agriculteurs que par les spécialistes du sol. C'est ainsi que Soltner (1987) a défini la fertilité d'un sol comme étant simplement son aptitude à produire. Selon Musy et Soutter (1991), la fertilité caractérise la capacité du sol à fournir des éléments nutritifs en quantités et en proportions convenables pour la croissance des plantes. Toutefois ce qu'il faut produire et la quantité à produire pour qu'un sol soit considéré comme fertile restent à déterminer.

La fertilité d'un sol peut donc être définie comme son aptitude à produire sous son climat; cette aptitude se mesure par le rendement agricole à long terme avec l'application des techniques culturales appropriées. Cependant, comme le souligne Lozet et Mathieu (1997), on doit donc distinguer la fertilité naturelle ou actuelle de la fertilité qui peut être acquise après un aménagement ou fertilité potentielle. On doit enfin distinguer la fertilité chimique de la fertilité physique et biologique. Le concept de fertilité associe donc plusieurs composantes: biophysicochimique (climat et sol), technique (mode de gestion de l'espace et techniques culturales) et humaine, qui s'interfèrent.

I.4- Etat de surface

L'expression « état de surface » peut désigner soit une seule surface élémentaire, soit une juxtaposition de plusieurs surfaces ou même un système de surface élémentaire (Casenave et Valentin, 1989).

Le terme surface élémentaire, lui désigne à un instant donné une unité pédologique superficielle différenciée sur un même type de sol dont la surface est caractérisée par un couvert végétal homogène et une organisation qui résulte des transformations subies sous l'effet des facteurs météorologiques, phytoécologiques, fauniques et anthropiques. Les états de surface influencent l'infiltration de l'eau dans le sol et conditionnent le développement des végétaux.

I.5- Sécheresse

Elle est une insuffisance de pluie par rapport à une quantité moyenne qui, en un lieu déterminé, permet habituellement le fonctionnement normal de l'écosystème et, en particulier,

la croissance des êtres vivants (Bonnet *et al.*, 1999). Jarraud (2006), a défini quatre types de sécheresse en fonction de ses domaines d'influence :

- *La sécheresse de type météorologique* est généralement définie par un seuil correspondant à un certain déficit de précipitations sur une période de temps déterminée. Elle survient lorsqu'il existe une période prolongée de précipitations en dessous de la moyenne. Le seuil choisi (par exemple 75 % de la normale) et la durée de la période (par exemple six mois) varient d'un endroit à l'autre selon les besoins des utilisateurs ou les applications concernées.
- *La sécheresse de type agricole* se définit par la présence dans le sol d'une quantité d'eau insuffisante pour assurer la croissance des cultures et du fourrage. Cette condition peut avoir lieu même si les précipitations sont normales à cause des conditions du sol et des techniques agricoles, ou de choix de plantes inadaptées (ex : maïs ou riz, très consommateurs d'eau en zone sèche).
- *La sécheresse de type hydrologique* survient lorsque le niveau des réserves d'eau disponibles dans les nappes aquifères, lacs et réservoirs prennent une valeur inférieure à la moyenne.
- *La sécheresse de type socioéconomique* diffère fortement des autres types de sécheresse du fait qu'elle reflète la relation entre l'offre et la demande de certaines denrées ou de certains biens économiques (eau, fourrage pour le bétail, énergie hydroélectrique, etc.) qui sont tributaires des précipitations. L'offre varie annuellement en fonction des précipitations ou de l'eau disponible; la demande varie également et est souvent associée à une évolution positive due, par exemple, à une augmentation de la population, au développement ou à d'autres facteurs.

Les sécheresses de type agricole, hydrologique ou socioéconomique sont décalées dans le temps par rapport aux sécheresses de type météorologique, parce que les effets produits dans ces secteurs sont liés à l'approvisionnement en eau de surface et en eau souterraine. Il faut souvent plusieurs semaines avant que l'insuffisance des précipitations se traduise par un déficit d'humidité du sol et que les cultures, les pâturages et les parcours commencent à en pârir. La persistance d'un temps sec pendant plusieurs mois ou plusieurs années entraîne une diminution de débit des cours d'eau, une baisse de niveau des réservoirs et des lacs et, éventuellement, un abaissement de la nappe phréatique. La conséquence de tout ceci est l'avènement du désert, la perte de la diversité animale et végétale. La sécheresse de type

météorologique paraît donc plus englobante et s'appliquerait mieux à l'étude de l'écologie de la réhabilitation.

I.6- Désertification

Selon Baumer (1987), elle est la diminution ou la destruction du potentiel biologique de la terre, qui conduit finalement à l'apparition de conditions désertiques sous la pression combinée des conditions climatiques capricieuses et d'une exploitation excessive. La différence entre la dégradation du sol et la désertification est que la première n'est pas forcément continue ; elle peut se produire pendant des périodes relativement courtes, elle est réversible et peut se produire sous tous les climats (Baumer, 1987).

Pour Tarrier (2007) la désertification correspond à l'accomplissement d'un déclin progressif. L'ultime stade est identifié par une perte des qualités physico-chimiques d'un sol trop exposé, ainsi dépourvu du minimum d'éléments nutritifs et incapable d'engendrer la moindre végétation. C'est le sol squelettique en perte de ses capacités de rétention des eaux de pluies, propre aux lessivages parfois catastrophiques et où seule une flore déserticole et très rustique est susceptible de se développer. En d'autres biomes, le processus suivrait un mode similaire, avec les variantes inhérentes au type d'écosystème et de bioclimat, d'un « tout » vers un « presque rien », par exemple de la forêt tropicale au bush et à la savane, puis au semi-désert.

Selon la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED, 1992), "la Désertification est la dégradation des sols dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines". Elle affecte 900 millions de personnes dans 99 pays, ce qui représente 1/4 de la surface émergée de la planète et 1/6 de la population mondiale. La chaîne des causalités qui conduisent à la désertification a été longuement et diversement analysée. On a ainsi évoqué les sécheresses et les changements climatiques, la pression démographique, l'inadaptation des technologies traditionnelles, la pauvreté, etc. Au Burkina Faso, où l'économie est dominée par l'agriculture et l'élevage qui occupent plus de 85% de la population et assurent près de 70 % des exportations, la situation se caractérise par :

- la détérioration continue des conditions climatiques : baisse de la pluviométrie, sécheresse,
- la dégradation des ressources naturelles qui se traduit par une destruction du couvert végétal, la réduction de la fertilité des sols, une érosion intense des sols,

- la croissance démographique galopante et la forte pression animale entraînant une occupation maximale des terres et la disparition des jachères,
- l'occupation anarchique de l'espace, aggravée par d'importantes migrations des populations, source de nombreux conflits,
- des méthodes d'exploitation et de gestion des ressources naturelles de plus en plus inadaptées aux réalités du milieu actuel.

Ainsi pour endiguer le phénomène de la dégradation des terres et générer des techniques de lutte efficaces, il nous a semblé indispensable de passer en revue les facteurs déterminants de la dégradation des terres. Ceci répond également à un besoin de combattre le mal en ses racines.

II- Facteurs déterminants de la dégradation des sols

La dégradation des sols en zone sahélienne résulte de l'action combinée des facteurs naturels et anthropiques.

II.1- Facteurs abiotiques

II.1.1- Sécheresse

La fin des années soixante a été marquée par l'apparition d'une sécheresse qui a persisté et s'est aggravée dans les années soixante dix et quatre vingt dans la zone sahélienne (Bonnet *et al.*, 1999). Les mêmes auteurs font remarquer que l'accentuation du déficit pluviométrique au cours de ces années s'est traduite d'une part par un abaissement du niveau des nappes superficielles, un tarissement des puits, une diminution dramatique du nombre des crues sur les Oueds et du débit des cours d'eau pérennes et d'autre part par une mortalité jamais égalée des plantes. Or, la végétation constitue un rempart pour briser l'énergie cinétique du vent et des gouttes de pluies (Blamah, 2004). En outre, elle contribue grâce aux racines et aux feuilles à protéger et à fertiliser le sol. En somme, elle constitue l'élément central du processus contraire à ceux concourant à la dégradation du sol. La diminution du potentiel végétal expose par conséquent le sol à l'érosion.

II.1.2- Erosion

Elle désigne l'ensemble des processus par lesquels, les particules du sol sont mobilisées, arrachées et transportées entraînant ainsi une perte de terre. Pour Visser (2004), dans la zone sahélienne de l'Afrique de l'Ouest, la dégradation du sol par le vent et le ruissellement constitue une menace pour l'utilisation durable des sols et des ressources en eau. On distingue deux types d'érosion :

- ❖ l'érosion hydrique

C'est le mécanisme par lequel l'eau arrache et déplace les particules du sol et les dépose en un autre endroit (Bas-fonds, zones non dégradées).

En termes d'érosion, Bonnet *et al.*, (1999) distinguent trois capacités essentielles pour l'eau. Pour eux en effet, l'eau qui coule à une compétence, c'est à dire le pouvoir de prendre et de transporter des matériaux ; argiles, limons, sables, graviers, débris végétaux qui colorent l'eau. Par sa compétence, l'eau courante acquiert un pouvoir érosif accru : l'eau chargée érode le sol par le frottement et le choc des matériaux qu'elle transporte. Enfin, l'eau a des pouvoirs d'imprégnation (humidification) de dissolution et de corrosion des couches de terre ou de roches perméables. Ce type d'érosion est perceptible sous trois formes : l'érosion en nappes, en rigoles et en ravines.

- ❖ l'érosion éolienne

C'est le mécanisme par lequel le vent arrache et transporte les particules du sol. Selon Geert (1997), il y a deux (2) saisons pendant lesquelles il est question d'érosion éolienne. La saison sèche apporte le vent fort nommé harmattan, qui provoque une érosion modérée. Les tempêtes de début de la saison des pluies (mai-juillet) constituent la période d'érosion la plus importante. Selon le même auteur, au cours d'une telle tempête des particules de sol sont soulevées et transportées, au moyen de trois (3) processus différents : saltation, reptation et suspension. On parle de saltation lorsque les grains de sable se déplacent sur la surface par bonds successifs, atteignant des hauteurs maximales d'à peu près 1 m. Au moment où un tel grain de sable retombe sur le sol, il se heurte non seulement à d'autres grains qui commencent à bondir (saltation), mais également de grains plus gros sont poussés en avant (reptation) et des matières plus fines sont mises en suspension.

Quelle soit hydrique ou éolienne, l'érosion entraîne la destruction des sols, l'appauvrissement des sols en éléments minéraux, l'acidification et la salinisation.

II.1.3- Sols et types de relief

Les sols, de part leur nature, présentent des caractéristiques qui les rendent plus ou moins sensibles aux phénomènes d'érosion. Selon une étude du BUNASOLS (1985), les sols du Burkina Faso sont dans leur grande majorité (39%) des sols ferrugineux tropicaux. Dans les conditions naturelles, ces sols sont fortement susceptibles à une mauvaise structuration dès qu'ils sont mis en culture (Sédogo, 1981). En outre, la pente intervient aussi dans le phénomène d'érosion. Néanmoins l'intervention de ce facteur n'est pas indispensable pour le développement du processus, l'action de la pluie restant suffisante.

II. 2- Facteurs biotiques

Ces facteurs sont essentiellement liés à la gestion des ressources naturelles par l'homme et les animaux.

II.2.1- Causes liées à l'homme

Les grandes réalisations (routes, barrage, urbanisation, construction, industries, orpaillage) sont sources de destruction de la couverture végétale. En plus, l'augmentation de la densité de la population oblige les hommes à migrer vers de nouvelles zones agropastorales où par des pratiques diverses notamment la surexploitation agricole, l'extension des cultures et le déboisement, favorisent la dégradation du sol.

II.2.2- Causes liées aux animaux

Elles sont importantes dans les zones à vocation pastorale où la charge animale est très élevée. Pour Bonnet *et al.*, (1999), on observe un accroissement du bétail comparable à celui de la population. L'espace pastoral, ne pouvant pas s'élargir, ils surviennent les phénomènes de surpâturage et de piétinement qui concourent à la dégradation du sol.

C'est alors que diverses actions de lutte contre la dégradation des terres sont engagées pour endiguer le phénomène.

III- Ecologie de la restauration et de la réhabilitation des terres

Aujourd’hui, l’écologie de la restauration ou de la réhabilitation est l’étude de l’ensemble des techniques ou pratiques visant à redonner à la nature ses qualités d’origine. Il s’agit en fait de reconstruire un écosystème qui évoluera selon les cas vers l’écosystème de référence ou vers un nouvel écosystème.

III.1- La restauration

Les écologues de la restauration s'accordent pour la définir comme « la transformation intentionnelle d'un milieu pour y établir un écosystème considéré comme indigène et historique. Le but de cette intervention est d'imiter la structure, le fonctionnement, la diversité et la dynamique de l'écosystème » (Vallauri et Chauvin, 1997). Ainsi, comme l'a souligné Davis (2000), la notion de restauration évoque trois dilemmes à savoir: premièrement, à quel temps dans le passé pourrait être l'objectif à atteindre par la restauration ? Pourrions-nous repartir dans 200 ans, 300 ans ou à quelle période glaciaire ? La détermination de la période de référence pour reconstituer un écosystème peut donc être très arbitraire et très subjective. Le deuxième est de savoir à quelle magnitude et à quelle échelle voulons-nous restaurer ? Le troisième, serait-il possible de restaurer le passé ? Pouvons-nous reconstituer un écosystème d'il y a 70 siècles par exemple ? Selon Cairns (2002), la reconstitution du passé d'un écosystème est seulement possible si les conditions climatiques qui y prévalaient se représentent. Il est donc évident, que nous ne pouvons pas restaurer un écosystème dans ses états originaux. Comme le souligne Choi (2004), les futures orientations de la restauration devraient se focaliser sur la réhabilitation de certaines fonctions des écosystèmes plutôt que sur la recomposition de leurs espèces originales. En prenant un exemple, Choi (2007) trouve que lorsqu'une personne perd sa jambe, le médecin lui met une jambe artificielle. La première fonction de cette jambe artificielle est de réhabiliter la fonction de la jambe plutôt que de reconstituer la jambe originale. Le médecin qualifie ce processus de réhabilitation et non de restauration. Appliquant, cette analogie à la restauration écologique, la reconstitution complète d'un écosystème est donc irréaliste parce que certains dommages causés à l'environnement sont irréversibles. Tout ce que nous pouvons faire est de réhabiliter certaines fonctions écologiques à travers la reconstruction de certaines structures écologiques de base que l'environnement dégradé a perdues. Pour Choi (2004), toutes les actions de restauration

rejoignent la définition de la réhabilitation. Par conséquent, le paradigme de la restauration écologique a donc besoin d'être redéfini avec les fonctions de la réhabilitation pour le futur et non comme une recomposition nostalgique du passé.

III.2- Réhabilitation

La réhabilitation est l'ensemble des processus qui conduisent à l'arrêt de la dégradation d'une part et d'autre part, au rétablissement de la résilience et à la réparation des fonctions du sol qui avaient été détruites ou amoindries par les processus de dégradation. Il ne s'agit pas de la réparation de toutes les fonctions du sol mais de celles qui intéressent l'aménagiste. Selon le degré de la dégradation c'est à dire, le nombre de seuils d'irréversibilité traversés par le sol, la réhabilitation nécessitera une simple suppression des causes de la dégradation ou une intervention de l'homme pour lever les blocages dans le système (Zombré, 2003). Wali (1999) définit la réhabilitation comme un acte d'amélioration d'un état dégradé. Bradshaw (2002, in Choi 2007) a élaboré cette définition comme une action de restauration d'un écosystème dégradé mais avec moins de perfection. En somme la réhabilitation d'un sol est selon Lal (1997, in Zombré 2003), le résultat de l'interaction de quatre phénomènes qui sont :

- ❖ la résilience du sol qui lui permet de contrecarrer les facteurs de dégradation et à répondre à l'intervention de l'homme quand il souhaite améliorer certains attributs de la qualité du sol,
- ❖ la qualité actuelle du sol qui se caractérise par le nombre de seuils d'irréversibilité traversés par celui-ci,
- ❖ les formes, modes et planning des interventions du gestionnaire du sol,
- ❖ les conditions environnementales (type de sol et climat) qui prévalent sur le site.

A notre sens, la réhabilitation forestière serait toute action visant à aider les processus naturels de rétablissement de la forêt en faisant en sorte que la composition spécifique, la structure du peuplement, la biodiversité, les fonctions et la dynamique de la forêt réhabilitée tende, dans la mesure du possible, à celles de la forêt climacique.

III.3- Démarche pour la réhabilitation des terres

La réhabilitation des terres agricoles a pour but de rétablir la capacité du sol à produire durablement. La production primaire est grandement contrôlée par les interactions entre disponibilité en eau et disponibilité en éléments minéraux dans le sol. La réhabilitation nécessite donc que soient créées des conditions pour :

- 1) assurer une infiltration effective de l'eau et son maintien dans le sol,
- 2) assurer le rétablissement des cycles des éléments minéraux et d'un complexe où s'effectuent le maintien et la libération des éléments minéraux. La figure 7 présente une démarche pour la réhabilitation des sols dégradés dans un contexte où le manque d'eau et des éléments minéraux sont les contraintes à lever (Zombré, 2003).

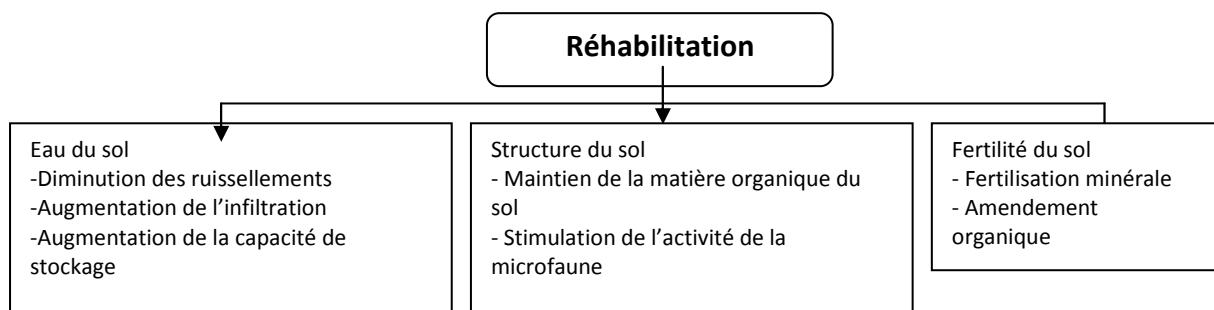


Figure 7 : Démarche pour la réhabilitation des sols dégradés (Zombré, 2003).

III. 4 Les mécanismes de la succession végétale

La succession végétale ou colonisation est le processus naturel par lequel un groupe de plantes d'une même station y remplace progressivement un autre. Les successions végétales correspondent au processus de reconstitution de la végétation après destruction totale ou partielle d'une communauté végétale préexistante (Cléments, 1916 in Somé, 1996). Les successions secondaires concernent la colonisation par les arbres et arbustes d'une végétation herbacée préexistante. Une succession végétale est donc une séquence, une série dynamique de communautés qui sur un même complexe climat-sol, préparent le terrain à une autre communauté plus complexe, jusqu'au stade théorique ultime qu'est le climax (Connell et Slatyer, 1977). Les successions sont expliquées à travers l'analyse d'un certain nombre de mécanismes, aussi variés que les modèles élaborés pour décrire leur déroulement (Cléments 1916, 1936 in Somé, 1996 ; Connell et Slatyer, 1977; Krebs, 2001; Lévéque, 2001). Toutefois, Somé (1996) a décrit les différents types biomorphologiques qui se succèdent en ce qui concerne nos écosystèmes de savane :

- ❖ le type thérophyte uniculinaire, dont les graines sont soit épizoochères soit issues du stock séminal édaphique. Ce type est très présent en début de jachère et est représenté par des espèces comme *Borreria stachydea*, *Tephrosia bracteolata*, *Cassia*

mimosoides. Ce sont des espèces à occupation du sol ponctuelle, sans plateau de tallage et à axe unique ou peu nombreux.

- ❖ le type thérophyte cespiteux qui remplace progressivement celui uniculmaire est constitué d'espèces multiradicantes à ramification basale intense. Ce type est représenté par des espèces comme *Andropogon pseudapricus*, *Brachiaria distichophylla*, *Setaria pallide-fusca*, *Pennisetum pedicellatum*, *Cyperus spp...*
- ❖ le dernier stade est représenté par le type hémicryptophyte cespiteux dont les graines sont épizoochores (*Andropogon gayanus*, *Andropogon ascinodis*, *Fimbristilis spp.*).

Cette succession d'espèces dont la biologie et la morphologie sont de plus en plus élaborées répond à une complexification de plus en plus grande du milieu, avec une compétition interspécifique plus importante; le type hémicryptophyte cespiteux plus adapté à une forme de concurrence qui serait imposée par les ligneux et les sous-ligneux.

IV- Techniques de réhabilitation de terres dégradées

Selon Yaméogo (2001), la conservation des eaux et des sols est perçue comme « l'ensemble des mesures qui, lors de la mise en valeur des ressources naturelles, tendent à maintenir et si possible augmenter les potentialités de production; les sols et l'eau étant les éléments fondamentaux de ces potentialités ». Parmi les techniques utilisées pour réhabiliter les terres dégradées, on distingue des procédés physiques et des procédés biologiques. Les procédés physiques regroupent les cordons pierreux, diguettes antiérosives, le zaï, les fosses d'infiltration, les demi-lunes et le sous-solage. Les procédés biologiques sont constitués : du paillage, de la mise en défens, de la haie vive et des bandes enherbées. Trois procédés physiques ont été concernés par notre étude.

IV.1- Cordons pierreux

Ce sont des ouvrages anti-érosifs constitués par un arrangement judicieux de pierres sur les courbes de niveau. Les matériaux utilisés sont des blocs de cuirasse ferrugineuse appelés moellons. Les moellons sont de formes et de dimensions variables. Les cordons sont appliqués sur des terrains en pente où le ruissellement est fort (Rochette, 1989). La largeur et la hauteur des cordons pierreux sont comprises entre 20 et 30 cm en moyenne;

Plusieurs auteurs dont Lamachère et Ouédraogo (1991), Zida (1992), Zougmoré et al. (2003b), ont montré que l'installation des cordons pierreux dans les zones sahéliennes permet :

- de freiner la vitesse des eaux de ruissellement,
- de favoriser une plus grande infiltration de l'eau,
- de favoriser l'accumulation des graines et de la matière organique entraînées par le vent et les eaux de ruissellement,
- d'évacuer les eaux excédentaires,
- de réduire l'érosion hydrique,
- d'améliorer la productivité des sols.

IV.2- Zaï agricole

Le zaï en langue moré vient du mot « zaiegré » qui signifie « se hâter pour préparer sa terre » (Kaboré, 1995, Roose et *al.*, 1995). La technique du zaï est souvent combinée à d'autres techniques de restauration du sol. Pratique traditionnelle, de nos jours très répandue dans la zone sahélo-soudanienne, le zaï a fait l'objet de nombreux travaux de recherche et d'étude d'impact (Roose et *al.*, 1995 ; Reij et *al.*, 1996 ; Zombré et *al.*, 2000 ; Zougmoré et *al.*, 2000 ; Zombré, 2003 ; Kiéma et *al.*, 2008 ; Zougmoré et *al.*, 2009; Yaméogo et *al.*, 2011). C'est une technique à haute intensité de main d'œuvre mais qui assure une gestion efficiente de la matière organique et de l'eau. Elle consiste à creuser en saison sèche des cuvettes de 20 à 40 cm de diamètre et de 10 à 15 cm de profondeur tous les 80-100 cm, et à rejeter la terre excavée vers l'aval du creux pour capter les eaux de ruissellement. On y ajoute environ 300 g de compost ou de fumier (Zougmoré et *al.*, 2005). Pour notre étude, l'apport du fumier est fait à la dose de 157 g par poquet pour respecter la dose recommandée par recherche pour maintenir la production (Barro et *al.*, 2005). La densité des semis est de 0,8 cm x 0,4 cm .Un cordon pierreux de protection est en général aménagé en amont du champ pour réduire la vitesse des ruissellements sur ces terres encroûtées. La taille des cuvettes et leur espacement varient selon le type de sol et selon les régions : elles ont tendance à être plus grandes sur les sols gravillonnaires qui sont peu perméables que sur les autres types de sol (sablo-argileux ou limono-argileux).

IV.3- Zaï forestier

Le zaï forestier est une technologie endogène de récupération des espèces ligneuses à partir de la technique de récupération agricole des zipellés (Koutou, 2006). Elle est née du fait de la remarque pertinente de certains paysans qui, voyant souvent pousser certaines essences ligneuses dans les poquets de zaï, les ont protégées contre les animaux. En effet, la matière

organique apportée par le vent et le fumier contient des graines de diverses espèces arborées prêtes à germer après le passage dans le tube digestif des ruminants (Roose *et al.*, 1993 ; Delaite et Pastor, 1997). Les conditions du zaï donnent un environnement favorable à la régénération de certaines essences forestières. Le principe consiste à épargner lors du désherbage et à entretenir dans une cuvette sur trois les plantules des arbres qui sont ainsi associés à la culture (Delaite et Pastor, 1997). A la récolte, les tiges sont cassées à un mètre de hauteur de manière à protéger la jeune plantule de l'érosion éolienne et de la vue du bétail. Au bout de quelques années (5 ans) on peut reconstituer un couvert forestier dont les arbustes sont taillés en taillis ou perches (premières récoltes de bois de feu). Le zaï forestier peut être appliqué directement sur des terres dégradées en milieu forestier. Dans ce cas les espacements sont plus grands et on peut apporter dans les poquets de zaï des semences d'espèces forestières (Ganaba *et al.*, 2006 ; Yaméogo, 2006).

Le zaï de façon générale a pour objectif de :

- récupérer des terres dégradées et abandonnées,
- récupérer et emmagasiner l'eau de ruissellement dans les poquets,
- améliorer l'utilisation et l'aération du sol,
- améliorer les fertilités des sols par le piégeage de particules fines apportées par les eaux de ruissellement et le vent,
- régénérer le couvert végétal à travers le piégeage des semences d'espèces forestières.

V- La restauration au Burkina Faso

La lutte contre la désertification a commencé en 1973, avec la naissance du Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS) (JALDA-Dori, 2000). Face au phénomène de dégradation de l'environnement qui prend de plus en plus de l'ampleur, les autorités du Burkina Faso ont fait de la préservation des ressources naturelles une option majeure. Ainsi, plusieurs programmes ont été mis en place pour une meilleure utilisation de l'espace rural. Il s'agit notamment :

- de la Réforme Agraire et Foncière (RAF) dont le but est une utilisation plus équitable et une gestion plus rationnelle des terres,
- du Plan National de Lutte Contre la Désertification (PNLCD) élaboré en 1977 dans le cadre du plan régional du CILSS,

- du Plan d’Action National pour l’Environnement (PANE) élaboré en 1991 avec le soutien de la banque mondial et amendé en 1994,
- du Programme d’Action National de Lutte Contre la Désertification (PAN/LCD) élaboré en 1999 suivant les principes de la convention des Nations Unies sur la lutte contre la Désertification (CCD) et approuvé en mars 2000 par le gouvernement burkinabé.

Sur le plan de l’approche des populations concernées, les projets et programmes mis en œuvre ont expérimenté diverses méthodes allant des pratiques technicistes et dirigistes aux formules participatives.

Plusieurs travaux de recherche ont été menés pour mieux appréhender les résultats des différentes techniques traditionnelles utilisées par les populations et proposer des améliorations. Ainsi, la description des techniques traditionnelles de CES/DRS par exemple en Afrique a été faite par Reij et *al.* en 1996. Roose et *al.* (1993) ont travaillé sur le zaï dans la région soudano-sahélienne du Burkina Faso et ont prouvé qu'il permettait d'augmenter substantiellement la production en grain et en paille du sorgho et réintroduisait une grande diversité de plantes utiles pour relancer les processus naturels de restauration des sols par la jachère. Dakio en 2000 a évalué les effets du zaï sur le niveau organique et minéral des sols et sur les rendements du sorgho dans le Yatenga et le Zandoma. Sawadogo et *al.* ont confirmé en 2008 l'effet positif du zaï sur les propriétés physico chimiques et le rendement du sorgho dans le Yatenga avec l'usage du compost. Zougmoré et *al.* (2000), ont mis en évidence l'effet de l'espacement des lignes de cordon pierreux sur le ruissellement et le rendement du sorgho. Ils ont conclu que les espacements de 25 m et de 33 m donnaient les meilleurs résultats sur le rendement et le bilan hydrique du sol. En outre, dans le plateau central du Burkina Faso, des travaux de recherche concernant les effets des techniques CES/DRS sur le mouvement de l'eau et le bilan hydrique des sols et les caractéristiques socio – économiques ont été conduits par Kambou et *al.* en 1994, Hien en 1995, Kessler et *al.* en 1998, Zougmoré et *al.* en 2009. Tous ces auteurs ont abouti à la conclusion que les CES/DRS amélioraient la perméabilité du sol, le rendement des cultures et induisaient un gain substantiel de revenu au producteur. Zougmoré et *al.* (2003b) ont prouvé que l'amendement organique ou minéral était indispensable dans la réussite des demi-lunes dans la partie nord du Burkina Faso. En 2003, à l'issu de ses travaux sur la restauration des sols dégradés, Zombré a proposé une cartographie des zones d'applicabilité des CES/DRS (**Fig. 8**) qui exclu la zone sud-soudanienne.

Des travaux analogues concernant la région du Sahel ont été développés sur la dynamique des pâturages (Ganaba, 2005 ; Ganaba, 2008 ; Kiema, 2008). Ces travaux ont tous prouvé que les

CES/DRS amélioreraient quantitativement et qualitativement la productivité des pâturages. Yaméogo (2006) et Ganaba et *al.* (2006) ont montré que les CES/DRS impactaient positivement sur la transpiration et la productivité des ligneux sahéliens. La variation de l'activité biologique dans les zipella (sols nus) en zone subsahélienne du Burkina Faso et l'impact de la technique du zaï (techniques des poquets) ont été étudiés par Zombré en 2006. Il a ainsi montré que l'activité biologique est améliorée par les traitements de zaï notamment sur le sol brun. Par ailleurs, Doamba et *al.*, (2011) dans le Kouritenga, ont montré l'effet des cordons pierreux sur l'amélioration du potentiel de minéralisation du carbone et l'activité biologique d'un sol ferrugineux tropical lessivé. D'autres études ont abordé les aspects socio-économiques de ces technologies. Ainsi, Sidibé en 2005 est arrivé à la conclusion que dans le nord du Burkina Faso, l'éducation et la perception de la dégradation déterminait l'adoption du zaï et que celle des cordons pierreux était liée à l'appartenance à une association d'agriculteur. Parmi toutes ces études, aucune ne s'est intéressée à la zone sud-soudanienne du Burkina Faso. Cependant les cordons pierreux y deviennent une pratique courante. En outre notre étude sur la caractérisation physique du milieu a montré des possibilités d'application du zaï (Yaméogo et *al.*, 2009). Ceci a motivé notre choix d'évaluer l'efficacité des cordons pierreux et l'applicabilité du zaï dans cette zone.

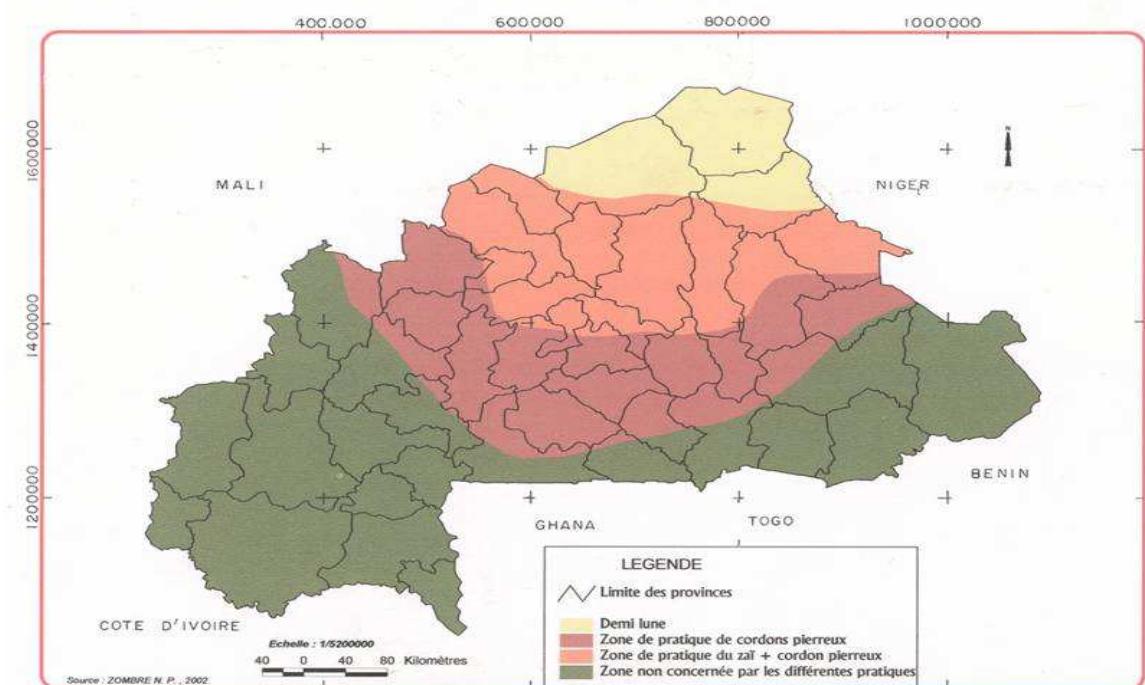


Figure 8: Carte des zones potentielles de pratique de CES/DRS au Burkina (Source : Zombré, 2003)

Conclusion partielle

Un sol dégradé est un sol qui a perdu ses capacités de soutien et/ou de nutrition de la plante. La dégradation du sol peut être physique, chimique, biologique ou une combinaison des trois. Chacune des trois catégories de dégradation comporte différentes formes en interrelation. Cette dégradation est induite par des facteurs naturels et des activités anthropiques qui l'accélèrent. Elle entraîne une baisse de la productivité des terres et constitue un obstacle à l'atteinte de l'autosuffisance alimentaire dans la plus part des pays soudano sahéliens. L'impact de la dégradation des sols en foresterie se traduit par une dégradation de la diversité biologique notamment un appauvrissement de la composition et de la diversité spécifique et écosystémique. Les corollaires en sont, une détérioration des conditions de vie des populations avec pour corollaire des difficultés d'approvisionnement en bois de chauffe, des pollutions diverses et la baisse du rôle socio-économique des formations naturelles (complément alimentaire, médicinal et cultural).

La lutte contre la dégradation des sols au Burkina Faso ne date pas d'aujourd'hui. Elle concerne l'application de méthodes ou de procédés permettant de réduire l'impact des agents de dégradation sur le sol, d'améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Cela peut entraîner une augmentation de la productivité des terres et permettre de récupérer, pour une agriculture durable, des terres dégradées et abandonnées.

DEUXIEME PARTIE : ETUDE PRELIMINAIRE

CHAPITRE 1 : SITUATION DE REFERENCE SUR LE SOL

I- Matériel et méthode

I.1- Description des états de surface

La description des états de surface permet de donner une « photographie » de l'état initial du site avant aménagement. Le suivi de la dynamique des états de surface permet de suivre l'impact de chacune des techniques de récupération sur l'écosystème forestier.

Cette description des divers états de surface à l'échelle de la parcelle peut permettre la compréhension de la variation des propriétés physico-chimiques des sols.

I.1.1- Description des surfaces élémentaires

Elle a consisté en une description de profil pédologique et en une description des micro-horizons pelliculaires de surface (MHPS). Pour la description des surfaces élémentaires, la prospection a été faite suivant trois transects. Chaque transect part du haut de pente vers le bas de pente. Deux transects passent par le milieu des sous-parcelles extrêmes et le troisième traverse le dispositif en son milieu (**Fig. 9**).

Pour estimer le recouvrement linéaire de chaque surface élémentaire, nous avons utilisé la méthode dite « line-intercept » décrite par Bondam (1988) cité par Mando (1991).

La méthode consiste à suivre une ligne le long de laquelle on étend un ruban métrique et on lit la longueur Li de chaque surface interceptée par le ruban.

Le recouvrement linéaire (Rl) de la surface élémentaire Li est :

$$Rl = \frac{\sum Li}{L1} \times 100$$

L1 = Longueur totale de la ligne ou du transect. La longueur du transect est dictée par les dimensions du dispositif.

Le recouvrement total de la surface élémentaire Li est obtenu par la somme des Rl sur les trois transects divisés par trois.

La typologie des surfaces élémentaires et des états de surface est faite en se basant sur les clefs de détermination élaborées par Casenave et Valentin en 1989 (**Annexe 2**).

I.1.2- Description de profil pédologique

Sur le site deux dispositifs de huit (08) parcelles chacun, ont été initialement mis en place. Chaque dispositif est constitué de deux blocs de quatre (04) parcelles de 2500 m² chacune (**Fig. 9**).

Le premier dispositif mis en place est un dispositif à vocation agroforestière (DVAF) (pour une production agricole) et le second est un dispositif à vocation forestière (DVF) c'est-à-dire dans l'optique de restaurer la végétation du site.

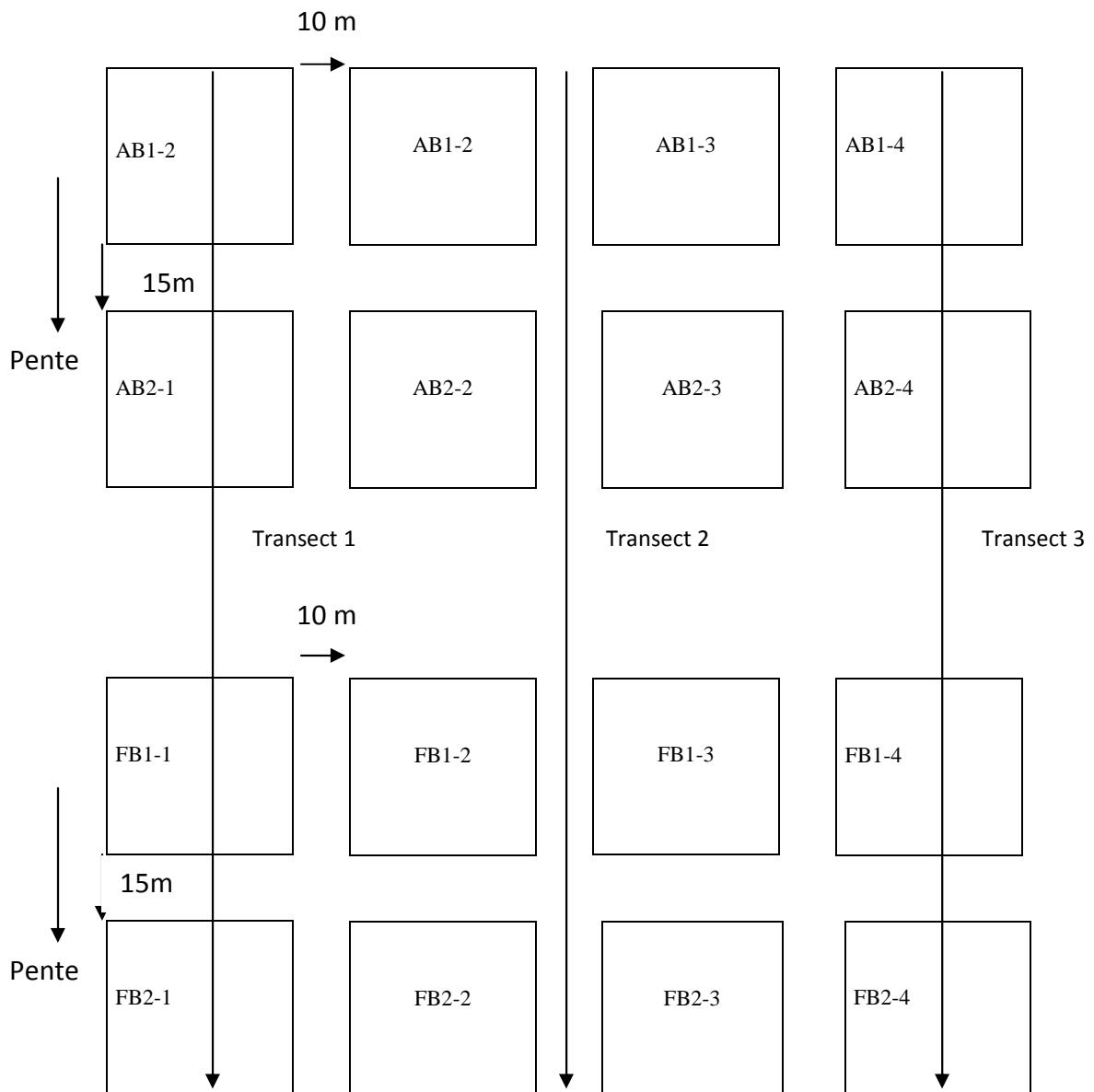
Au centre de chaque parcelle une fosse pédologique a été ouverte ; la profondeur de la fosse a été fonction de la profondeur d'apparition de la cuirasse (Ruellan et Dosso, 1993). La description a porté principalement sur l'environnement du profil et sur le profil proprement dit. La démarche pour la caractérisation morphologique des sols a été la suivante :

- description de l'environnement du profil : sont reportées sur la fiche établie à cet effet, les informations sur la position physiographique, la topographie environnante, la pente, le matériau parental, la présence d'éléments grossiers ($\varnothing > 2$ mm) en surface et/ou d'affleurement rocheux ou de cuirasse, l'état hydrique du profil, les conditions de drainage et le couvert végétal.

- description des horizons : elle a été faite selon la directive FAO de description des sols (FAO, 1994), et suivant le manuel de prospection pédologique du Bureau National des Sols (BUNASOLS, 1989) (Annexe 1). La couleur des sols a été précisée à l'aide de la charte des couleurs des sols (Munsell, 1975). Puis, chaque profil de sol ainsi décrit a été classé dans l'une des classifications françaises des sols (CPCS, 1967).

- prélèvement des échantillons de sol pour analyse au laboratoire : un échantillon de sol a été prélevé sur chaque horizon. Les analyses ont été pratiquées dans le laboratoire du Bureau National des sols du Burkina Faso. Les différentes méthodologies sont décrites dans les paragraphes consacrés aux travaux analytiques.

Après l'étude descriptive, les deux dispositifs ont été modifiés pour prendre en compte l'hétérogénéité du terrain.



A= Agroforestier ; F= Forestier ; B = bloc ; le premier chiffre renvoie au numéro du bloc et le second au numéro de la parcelle dans le bloc. Exemple : AB1-1 correspond à la parcelle n°1 du bloc n°1 du dispositif à vocation agroforestière.

Figure 9 : Schéma des deux dispositifs pour la description des états de surface.

I.2- Analyse de laboratoire

Le sol est un milieu très complexe dont la caractérisation exige des données très variées (physique-chimiques-géologiques, géographique, géomorphologiques, biologiques etc.). Si au cours de la prospection, un certain nombre d'éléments d'appréciation peuvent être obtenus (géomorphologiques, géographiques etc.), il reste que bon nombre de données sont difficilement déterminables sur le terrain. Notamment les caractéristiques chimiques. Aux

termes des études de terrain on a donc recours au laboratoire et les travaux y sont fonction des objectifs poursuivis. Il est effectué ici une caractérisation initiale.

Les méthodes d'analyses (physiques et chimiques) appliquées sont celles qui sont actuellement utilisées dans le laboratoire du bureau national des sols (BUNASOLS). Elles sont décrites dans le document technique n°3 (BUNASOLS, 1987).

I.2.1- Paramètres physiques

Cette analyse a concerné la granulométrie 5 fractions. Elle vise la séparation des différentes fractions minérales du sol dont les particules sont inférieures ou égales à 2 mm et à la détermination de leurs proportions. Les particules sont ainsi classées :

- argile $\varnothing < 2\mu\text{m}$
- limon fin $2\mu\text{m} < \varnothing < 20\mu\text{m}$
- limon grossier $20\mu\text{m} < \varnothing < 50\mu\text{m}$
- sable fin $50\mu\text{m} < \varnothing < 200\mu\text{m}$
- sable grossier $200\mu\text{m} < \varnothing < 2000\mu\text{m}$

La méthode par pipetage de Robinson-Köln a été utilisée. La démarche consiste à la destruction de la matière organique par le peroxyde (H_2O_2). L'argile enrobant les particules terreuses est ensuite dispersée par l'hexamétaphate de sodium. Les sables fins et grossiers ont été séparés par tamisage, à l'aide d'un tamis de 50 μm et 200 μm . Les autres particules ($\varnothing < 50 \mu\text{m}$) l'ont été par prélèvement au cours de la sédimentation, à des profondeurs variant selon la température et le temps écoulé après l'agitation mécanique, conformément à la loi de Stokes qui stipule que la vitesse de sédimentation (v), pour une température donnée, est proportionnelle au carré du rayon (r) de la particule ($v = Kr^2$) (BUNASOLS, 1987).

I.2.2- Paramètres chimiques

Les analyses débutent par le tamisage, à l'aide d'un tamis de 2 mm pour séparer la terre fine des particules grossières de terre. Les analyses ont porté sur l'acidité du sol (pHeau), la matière organique des sols (MOS), le complexe absorbant, le phosphore assimilable et le potassium disponible.

➤ Mésure du pH

L'acidité est déterminée par la mesure du pH eau à partir d'un mélange de terre avec de l'eau distillée dans un rapport 1/2,5 selon la norme conventionnelle, puis le pH est mesuré à l'aide d'un pH mètre.

➤ Caractérisation du complexe absorbant

Elle a pris en compte la capacité d'échange cationique, les bases échangeables et le taux de saturation en bases.

➤ Capacité d'échange cationique (CEC ou T)

La procédure employée est basée sur l'extraction des cations avec de l'argent thiouré (Agtu) à 0,01M. L'échantillon de sol est agité avec une solution de Agtu pendant 2 heures et est ensuite filtré ou centrifugé. La CEC est déterminée par la quantité d'argent dosée dans le filtrat qui le représente.

➤ Bases échangeables et le taux de saturation du complexe adsorbant

Pour les bases échangeables il s'agit de Ca^{2+} ; Mg^{2+} , K^+ et Na^+ . Leur détermination se fait en même temps avec la CEC. Le principe de la détermination des bases échangeables est basé sur leur déplacement par un autre cation. L'acétate d'ammonium ou l'acétate d'ammonium alcool est utilisé pour effectuer ce déplacement selon l'état du sol (acide, basique ou neutre). Le percolât obtenu contient les cations libérés et la détermination de la CEC se fait ensuite au photomètre à flamme.

Le rapport entre la somme des bases échangeables (S) et la capacité d'échange cationique (T), multiplié par 100, représente le taux de saturation du complexe adsorbant .

➤ Phosphore assimilable (Pa)

Le phosphore assimilable est déterminé selon la méthode Bray n°1. L'Extraction du phosphore est réalisée avec une solution mixte de fluorure d'ammonium (0,03M) et d'acide chlorhydrique (0,25 M). L'extrait est ensuite passé au spectrophotomètre à 720 nm en utilisant le molybdate d'ammonium comme indicateur.

➤ Potassium disponible (Kd)

Il est obtenu par extraction dans l'échantillon du sol en utilisant une solution mixte d'acides chlorhydrique (HCl ; 0.1 N) et oxalique ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$; 0.4 N)). Le potassium est déterminé au photomètre à flamme par la comparaison des intensités de radiations émises par les atomes de potassium avec celles de solution standard.

➤ **Caractérisation de la matière organique des sols (MOS)**

Elle a porté sur les teneurs en carbone organique total (C), en azote total (N) ainsi que sur le rapport C/N.

➤ **Carbone organique total (C)**

Il a été déterminé par le dosage du carbone selon la méthode de Walkey et Black (1934). Le carbone organique est oxydé en milieu sulfurique concentré par le bichromate de potassium en excès. L'excès du bichromate est ensuite titré par une solution de sel de Mohr ($\text{Fe}(\text{SO}_4)_2(\text{NH}_4)_2$) en présence de diphenylamine. Pour passer du taux de carbone au taux de matières organiques totales, on utilise un coefficient multiplicateur qui est de 1,724 (Duchaufour, 1997). On estime que la matière organique contient 58 pour 100 de carbone.

➤ **Azote total (N)**

L'azote total est déterminé par minéralisation de l'échantillon de sol avec un mélange d'acide sulfurique -Sélénum- acide salicylique en le chauffant progressivement (100 à 340°C) jusqu'à minéralisation totale (méthode Kjeldahl). Après cette minéralisation, la solution aqueuse est mélangée à du carbone actif et filtrée. L'azote total est déterminé directement à l'auto-analyseur (SKALAR).

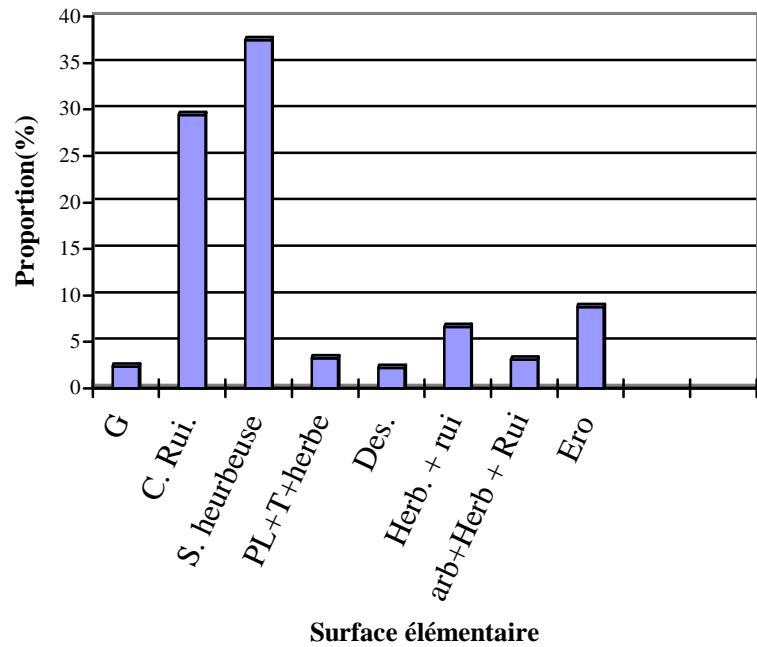
II- Résultats et discussions

II. 1- Résultats

II.1.1- Surfaces élémentaires

Huit (08) types d'états de surface ont été inventoriés sur le site d'étude. La **figure 10** décrit l'importance de chaque surface élémentaire.

L'examen de la **figure 10** laisse apparaître une prédominance des surfaces couvertes d'herbes (37,46%), les croûtes de ruissellement (29,39%) et les croûtes d'érosion (8,77%). Les surfaces élémentaires les plus faiblement représentées sont les croûtes de dessiccation (2,2 %) et les croûtes grossières (2,4 %). On rencontre également des superpositions de surfaces élémentaires comme les placages de termite sous herbes ou sous arbres. La **Photo 2** illustre quelques surfaces élémentaires.



G =croûte grossière ; S=surface ; Des=croûte de dissecation ; PL+T+herbe= placage de termite sous herbes ; Arb=arbre ; Herb=surface herbeuse ; Rui=croûte de ruissellement ; Ero=surface d'érosion

Figure 10 : représentativité des différents états de surface sur le site.



Photo 2: Illustration de quelques surfaces élémentaires (Cliché : Yaméogo T.J, juillet 2008)

II.1.2- Variation stationnelle des sols sur l'ensemble du site

La profondeur d'apparition de l'induration a été considérée comme principal facteur de variation. Elle a permis d'avoir 4 classes de sol selon la CPCS (1967) :

- Les Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés Indurés Superficiels (FLIS) : ce sont des sols dont la profondeur est comprise entre 0 et 20 cm. Cette classe représente 25% des sols du périmètre et est représentée par les profils : AB2-3 ; FB1-1 ; FB1-2 et FB1-3,
- Les Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés Indurés Peu Profonds (FLIPP) : la profondeur de ces sols est comprise entre 20 et 40 cm. Cette classe contribue pour 18,75% des sols du site. Elle est représentée par les profils AB2-4 ; FB2-2 ; et FB2-3,
- Les Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés Indurés Moyennement Profond (FLIMP) : ce sont des sols dont la profondeur est comprise entre 40 et 60 cm. Cette classe représente 50% des sols du périmètre et est représentée par les profils : AB1-1 ; AB1-2 ; AB1-4 ; AB2-1 ; AB2-2 ; AB2-4 ; FB1-4 ; FB2-1,
- Les Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés Indurés Profond (FLIP) : ce sont des sols dont la profondeur est supérieure à 60 cm. Cette classe représente 6,25% des sols du périmètre et est représentée par le profil : AB1-3.

Les caractéristiques physiques de ces différentes classes de sol sont détaillées dans les fiches de description (**Annexe 3**)

II.1.3- Caractérisation physicochimique du sol

III.1.3.1- Caractérisation physique

Il ressort de l'analyse des **tableaux II et III** que la composition texturale des différents profils pédologiques varie en fonction des horizons organiques dans l'ensemble des deux dispositifs. Ainsi dans les profils comportant plusieurs horizons du DVAF, la tendance est à l'accumulation des éléments fins (argile et limons fins) dans les horizons profonds et à la concentration des éléments grossiers (limons grossiers, sables fins et grossiers) dans les horizons superficiels. Pour ce qui est de l'argile, sa teneur croît avec la profondeur. La teneur en argile varie de 185 gkg⁻¹ dans les horizons superficiels à 410 gkg⁻¹ dans les horizons profonds. Les limons fins n'ont pas de sens de variation en fonction de la profondeur. Dans les profils AB1-1, AB1-2, AB2-4 les teneurs en limons fins ont décru avec la profondeur tandis que dans les profils AB1-3, AB2-1 et AB2-2 la tendance est inversée.

Les valeurs des teneurs en limons grossiers ont diminué avec la profondeur. Dans l'horizon superficiel, la plus grande teneur ($421,8 \text{ gkg}^{-1}$) est obtenue dans le profil AB1-2 et la plus petite valeur ($336,5 \text{ gkg}^{-1}$) est observée dans l'horizon profond du même profil. On observe la même décroissance en fonction de la profondeur avec les sables fins. La valeur la plus élevée en surface est $203,9 \text{ gkg}^{-1}$ (AB2-1) et la plus petite valeur en profondeur est $46,7 \text{ gkg}^{-1}$ (AB1-2). Les sables grossiers ne montrent pas un sens strict de variation mais la tendance dans la plupart des profils est à leur accumulation en surface.

Dans le DVF où la tendance est à un horizon organique, la même remarque est observée ; proportion élevée d'éléments grossiers, surtout en surface pour les profils à deux horizons et accumulation des éléments fins en profondeur. Dans l'ensemble des profils les teneurs en limons grossiers sont les plus élevées sur tous les horizons. Ces teneurs varient de $389,7 \text{ gkg}^{-1}$ à $336,5 \text{ gkg}^{-1}$ dans le DVAF et de $412,3 \text{ gkg}^{-1}$ à $222,1 \text{ gkg}^{-1}$ dans le DVF.

Tableau II : Paramètres physiques des profils du dispositif à vocation agroforestière

Profil	Profondeur (cm)	Fractions granulométriques						
		Argile (gkg ⁻¹)	Limons fins (gkg ⁻¹)	Limons grossiers (gkg ⁻¹)	Sables fins (gkg ⁻¹)	Sables grossiers (gkg ⁻¹)	Fraction fine (gkg ⁻¹)	Fraction grossière (gkg ⁻¹)
AB1-1	0-18	185	112,5	387,9	195	119,6	297,5	702,5
	18-54	295	97,5	372,7	147,1	87,7	392,5	607,5
AB1-2	0-10	25	132,5	421,8	135,5	60,2	382,5	617,5
	10-20	362,5	125	340,2	95,1	77,2	487,5	512,5
	20-58	410	120	336,5	46,7	46,7	530	470
AB1-3	0-29	377,5	97,5	362,1	111,7	51,2	475	525
	29-60	402,5	102,5	378,5	89,1	27,4	505	495
	60-90	400	102,5	358,4	81,8	57,3	502,5	497,5
AB1-4	0-21	215	75	389,7	196	124,3	290	710
	21-50	352,5	82,5	373,8	97,1	94,1	435	565
AB2-1	0-19	212,5	110	378,3	203,9	95,3	322,5	677,5
	19-50	307,5	140	344,1	97	111,4	447,5	552,5
AB2-2	0-24	300	135	359	138,3	67,7	435	565
	24-57	350	145	347,1	85,8	72,1	495	505
AB2-3	0-21	207,5	125	346,4	183,7	137,4	332,5	667,5
AB2-4	0-30	297,5	100	356,9	159,5	86,1	397,5	602,5

A= Agroforestier ; B = bloc ; le premier chiffre renvoie au numéro du bloc et le second au numéro de la parcelle dans le bloc. Exemple : AB1-1 correspond à la parcelle n°1 du bloc n°1 du dispositif à vocation agroforestière.

Tableau III : Paramètres physiques des profils du dispositif à vocation forestière

Profil	Profondeur (cm)	Fractions granulométriques						
		Argile (gkg ⁻¹)	Limons fins (gkg ⁻¹)	Limons grossiers (gkg ⁻¹)	Sables fins (gkg ⁻¹)	Sables grossiers (gkg ⁻¹)	Fraction fine (gkg ⁻¹)	Fraction grossière (gkg ⁻¹)
FB1-1	0-19	295	165	379,7	119,7	40,6	460	540
FB1-2	0-14	160	102,5	412,3	209,6	115,6	262,5	737,5
FB1-3	0-10	152,5	62,5	222,1	162,6	400,3	215	785
FB1-4	0-15	297,5	90	344,7	131,6	136,2	387,5	612,5
	15-46	332,5	105	356,5	107,2	98,8	437,5	562,5
FB2-1	0-20	355	97,5	310,7	118,6	118,2	452,5	547,5
	20-50	417,5	102,5	307,7	69,9	102,4	519,6	480,4
FB2-2	0-8	172,5	87,5	385,2	192,2	162,6	260	740
	8-32	212,5	95	386,6	134,1	171,8	307,5	692,5
FB2-3	0-27	152,5	72,5	352,3	170,8	251,9	225	775
FB2-4	0-13	307,5	92,5	328,1	134,7	137,2	400	600
	13-47	427,5	105	335,4	75,5	56,6	532,5	467,5

F= Forestier ; B = bloc ; le premier chiffre renvoie au numéro du bloc et le second au numéro de la parcelle dans le bloc. Exemple : FB1-1 correspond à la parcelle n°1 du bloc n°1 du dispositif à vocation forestière.

III.1.3.1- Caractérisation chimique

Les résultats de l’analyse chimique des échantillons prélevés sur les différents horizons des profils sont présentés dans les **tableaux IV et V**. Dans le DVAF, les composantes de la matière organique du sol ont subi des baisses suivant la profondeur. La matière organique totale (MO) est passée de 21,9 gkg⁻¹ (AB2-3) dans l’horizon de surface à 10,7 gkg⁻¹ (AB1-3) en horizon profond. Le carbone total (C) a suivi la même tendance et a évolué de 12,7 gkg⁻¹ dans le profil AB2-3 à 6,2 gkg⁻¹ dans le profil AB1-3. Les teneurs en azote total restent faibles sur tous les horizons mais décroissent tout de même avec la profondeur. Ils évoluent de 0,95 gkg⁻¹ dans l’horizon superficiel du profil AB1-2 à 0,54 gkg⁻¹ dans le dernier horizon du profil AB1-3. Le rapport C/N quant à lui oscille entre 14 en surface et 11 en profondeur.

Le phosphore assimilable (Pa) a régressé des horizons superficiels aux horizons profonds. Sa valeur passe de 7,01 mgP kg⁻¹ (AB1-2) à 0,25 mgP kg⁻¹ (AB2-1). Le potassium disponible (Kd) n’a pas connu de sens strict d’évolution mais sa teneur varie de 36,48 mgK kg⁻¹ (AB1-1) à 12,8 mgK kg⁻¹ (AB1-2).

En ce qui concerne les bases échangeables, elles ont toutes des valeurs réduites dans tous les horizons. En outre, seules les teneurs de l’ion calcium décroissant avec la profondeur. Ses teneurs évoluent de 2,66 cmol kg⁻¹ (AB1-3) à 1,09 cmol kg⁻¹ (AB1-1). Les teneurs des autres

bases n'ont pas de sens de variation. Cependant lorsque l'on considère la somme des bases échangeables (S), la tendance est à la décroissance des teneurs avec la profondeur. La valeur la plus élevée en horizon de surface est de $3,67 \text{ cmol kg}^{-1}$ et de $1,26 \text{ cmol kg}^{-1}$ en horizon profond du même profil (AB1-1). Tous les horizons sont désaturés. Les coefficients de saturation varient de 67% (AB1-3) à 42% (AB1-2).

Le pH est fortement acide au niveau de tous les horizons et de tous les profils. Il varie de 5,04 (AB1-1) à 3,95 (AB1-3).

Dans le DVF, la plupart des profils étant à un horizon l'analyse est faite de façon globale. Ainsi dans ce dispositif, la MO varie de $20,9 \text{ gkg}^{-1}$ dans le profil FB1-2 à $8,8 \text{ gkg}^{-1}$ dans le profil FB2-4. Le carbone total s'évalue à $12,1 \text{ gkg}^{-1}$ et $4,8 \text{ gkg}^{-1}$ respectivement dans le profil FB1-2 et FB2-4. L'azote total reste faible et compris entre $1,01 \text{ gkg}^{-1}$ (FB1-2) et $0,44 \text{ gkg}^{-1}$ (FB2-4). Le rapport C/N oscille également entre 11 et 14. Les plus fortes proportions des composantes Pa et Kd s'observent respectivement dans les profils FB1-2 ($2,50 \text{ mgP kg}^{-1}$) et FB2-4 (52 mgK kg^{-1}) tandis que les plus faibles valeurs s'enregistrent respectivement dans les profils FB2-4 ($0,33 \text{ mgP kg}^{-1}$) et FB1-2 (16 mgK kg^{-1}). Au niveau du complexe absorbant, le calcium est le cation le plus représenté avec des teneurs variant entre $1,57 \text{ cmol kg}^{-1}$ (FB2-4) et $0,59 \text{ cmol kg}^{-1}$ (FB2-3). Ses teneurs influencent la S qui varie également de $2,50 \text{ cmol kg}^{-1}$ ($2,50 \text{ cmol kg}^{-1}$ (FB2-4) à $0,92 \text{ cmol kg}^{-1}$ (FB2-3). Le coefficient de saturation s'évalue à 65% dans le profil FB2-2 et à 44% dans le profil FB1-2. Tous les profils ont un pH fortement acide et sa valeur est comprise entre 5,12 (FB1-4) et 4,33 (FB1-2).

Tableau IV : Paramètres chimiques des profils du dispositif à vocation agroforestière

Profil	Profondeur (cm)	Matière organique du sol				Pa mgP kg ⁻¹	Kd mgK kg ⁻¹	Complexe absorbant							pHeau
		MO gkg ⁻¹	C gkg ⁻¹	N gkg ⁻¹	C/N			Ca ²⁺ cmol kg ⁻¹	Mg ²⁺ cmol kg ⁻¹	K ⁺ cmol kg ⁻¹	Na ⁺ cmol kg ⁻¹	S cmol kg ⁻¹	T cmol kg ⁻¹	S/T(%)	
AB1-1	0-18	20,1	11,7	0,89	13	3,67	36,48	2,49	1,01	0,14	0,03	3,67	6,24	58	5,04
	18-54	16,7	9,7	0,82	12	1,50	15,51	1,09	0,08	0,06	0,03	1,26	2,81	44	4,64
AB1-2	0-10	21,2	12,3	0,95	13	2,25	20,1	1,43	0,45	0,07	0,03	1,98	4,54	44	4,74
	10-20	17,6	10,2	0,82	12	7,01	13,7	1,37	0,02	0,05	0,05	1,49	3,56	42	4,61
	20-58	14,8	8,6	0,76	11	0,67	12,8	1,79	0,30	0,05	0,03	2,17	4,33	50	4,80
AB1-3	0-29	15,2	8,8	0,70	13	3,75	13,7	2,66	0,34	0,06	0,01	3,07	4,55	67	4,17
	29-60	11,4	6,6	0,57	12	0,83	13,7	2,57	0,48	0,06	0,01	3,12	6,19	50	3,95
	60-90	10,7	6,2	0,54	11	0,42	14,6	1,44	0,28	0,06	0,01	1,79	3,43	52	4,12
AB1-4	0-21	18,4	10,7	0,89	12	2,34	27,4	2,05	0,88	0,09	0,01	3,03	5,55	55	5,00
	21-50	13,4	7,8	0,70	11	1,00	22,8	1,12	0,54	0,07	0,03	1,76	3,89	45	4,66
AB2-1	0-19	15,9	9,2	0,76	12	0,42	16,4	1,33	0,24	0,05	0,01	1,63	3,11	52	4,95
	19-50	15,7	9,1	0,79	12	0,25	17,3	1,19	0,11	0,05	0,01	1,36	2,46	55	4,82
AB2-2	0-24	15,9	9,2	0,79	12	3,59	15,5	1,44	0,13	0,05	0,01	1,63	3,15	52	4,77
	24-57	15	8,7	0,76	11	1,08	12,8	1,19	0,21	0,05	0,03	1,48	2,87	52	4,72
AB2-3	0-21	21,9	12,7	0,89	14	1,50	33,8	1,38	0,41	0,14	0,03	1,96	3,21	61	4,86
AB2-4	0-30	15,3	8,9	0,76	12	3,09	18,2	1,68	0,10	0,05	0,03	1,86	3,56	52	4,59

A= Agroforestier ; B = bloc ; le premier chiffre renvoie au numéro du bloc et le second au numéro de la parcelle dans le bloc. Exemple : AB1-1 correspond à la parcelle n°1 du bloc n°1 du dispositif à vocation agroforestière.

Tableau V : Paramètres chimiques des profils du dispositif à vocation forestière

Profil	Profondeur (cm)	Matière organique du sol				Pa mgP kg ⁻¹	Kd mgK kg ⁻¹	Complexe absorbant						pHeau	
		MO gkg ⁻¹	C gkg ⁻¹	N gkg ⁻¹	C/N			Ca ²⁺ cmol kg ⁻¹	Mg ²⁺ cmol kg ⁻¹	K ⁺ cmol kg ⁻¹	Na ⁺ cmol kg ⁻¹	S cmol kg ⁻¹	T cmol kg ⁻¹		
FB1-1	0-19	17,8	10,3	0,85	12	0,75	19,00	1,05	0,19	0,05	0,04	1,33	2,66	50	4,81
FB1-2	0-14	20,9	12,1	1,01	12	2,50	16,00	0,88	0,18	0,06	0,03	1,15	2,61	44	4,33
FB1-3	0-10	19,7	11,4	0,89	13	2,17	16,00	1,20	0,52	0,03	0,01	1,76	3,63	48	5,06
FB1-4	0-15	14,1	8,2	0,70	12	0,75	19,00	1,29	0,72	0,06	0,03	2,10	3,58	59	4,78
	15-46	10,9	6,3	0,57	11	0,50	35,00	1,03	0,40	0,14	0,04	1,61	3,25	50	5,12
FB2-1	0-20	20,3	11,8	0,82	14	2,25	31,00	1,24	0,37	0,10	0,05	1,76	3,50	50	4,68
	20-50	13,3	7,7	0,63	12	0,33	23,00	1,01	0,26	0,07	0,05	1,39	2,30	60	4,71
FB2-2	0-8	17,6	10,2	0,76	13	1,75	25,00	1,03	0,25	0,09	0,04	1,41	2,84	50	4,80
	8-32	14,1	8,2	0,70	12	0,75	17,00	1,41	0,17	0,05	0,05	1,68	2,60	65	5,02
FB2-3	0-27	13,8	8	0,66	12	1,75	19,00	0,59	0,22	0,06	0,05	0,92	1,77	52	4,91
FB2-4	0-13	14,7	8,5	0,66	13	2,00	31,00	1,57	0,74	0,12	0,07	2,50	4,14	60	4,78
	13-47	8,3	4,8	0,44	11	0,33	52,00	1,37	0,30	0,22	0,13	2,02	3,68	55	4,96

F= Forestier ; B = bloc ; le premier chiffre renvoie au numéro du bloc et le second au numéro de la parcelle dans le bloc. Exemple : FB1-1 correspond à la parcelle n°1 du bloc n°1 du dispositif à vocation forestière.

II.2- Discussion

Les états de surface ont une grande influence sur le milieu dans la mesure où ils conditionnent les paramètres hydrodynamiques des sols. Les résultats des études relatives aux comportements hydriques des états de surface en Afrique (depuis la zone humide jusqu'à la zone sèche) ont montré que parmi les surfaces élémentaires que nous avons identifiées, deux sont favorables à l'infiltration (Casenave et Valentin, 1989) : les surfaces herbeuses (37,5 %) et les surfaces de placage de termites (chenaux construits par les termites pour se prémunir du soleil pendant leur activité de récolte de nourriture) sous herbes et arbres (3,3 %). Les autres surfaces sont toutes réfractaires à l'infiltration. En effet, le type de sol, son organisation superficielle et sa végétation sont les trois variables qui influent l'infiltration des sols. Ainsi, 40,8 % seulement des surfaces du site sont favorables à l'infiltration, ce qui donne une idée de la dégradation actuelle du milieu. Ces états de surface, en influant sur l'infiltration conditionnent également le développement de la végétation. Les influences des états de surface sur la végétation ont été largement discutées (Ambouta, 1984 ; Devineau, 1990 ; D'Herbès et al., 1995 ; Ichoua, 2000 ; Zombré, 2003 ; Mahamane, 2005). Ils déterminent de façon remarquable le mode de regroupement des espèces qui conditionnent les premiers stades de recolonisation des milieux perturbés et des successions qui se mettent en place. Ces états de surface déterminent une grande hétérogénéité dans divers faciès de végétation.

Les sols du site de notre étude appartiennent aux sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés (Yaméogo, 2008). Selon une étude du BUNASOLS (1985), les sols du Burkina sont dans leur grande majorité (39%) des sols ferrugineux tropicaux. D'après Charreau et Nicou (1971) et Sédogo (1981), dans les conditions naturelles, ces sols sont fortement susceptibles à une mauvaise structuration dès qu'ils sont mis en culture.

Les caractéristiques physiques du sol vont dépendre de sa composition granulométrique, c'est-à-dire de la proportion de sable, de limon et d'argile qu'il contient. Dans l'ensemble, les sols du site présentent une texture grossière. La forte concentration de la fraction limoneuse dans les horizons de surface prédispose le sol à l'encroûtement. Cette fraction a une faible capacité de rétention en eau et est caractérisée par sa sensibilité à la battance. Par conséquent sous l'effet des pluies, il se forme une croûte imperméable en surface (Delville et al., 1991). En somme, il ressort de l'analyse physique des sols, une faible teneur en élément fins, en particulier de l'argile dans les horizons superficiels, sans doute par lessivage par les eaux de pluie. Or, la teneur minimale de MO du sol requis pour maintenir la structure du sol dépend de la teneur en argile et en limon (Pieri, 1989). Toutefois, la structure du sol a une importance

capitale sur le fonctionnement de l'activité biologique. D'une part, elle déterminera la pénétration des racines dans le sol, et d'autre part elle agira sur les déplacements d'eau, d'éléments nutritifs de la masse du sol vers les racines (Lavelle et al., 1993). La teneur du sol en MO (21,9 à 8,3 g kg⁻¹) est moyenne sur le site et est dans l'ordre des teneurs caractéristiques (0,1 à 3 %) des sols ferrugineux tropicaux (Bationo et Mokwunye, 1991). Cependant la faible teneur de ces sols en MO les prédispose à l'acidification. Cela justifie aisément les pH bas (5,12 à 3,95) relevés sur les deux dispositifs. Ces pH sont très faibles par rapport à ceux trouvés par Zombré (1984) dans les sols tropicaux du centre sud du Burkina Faso où le pH était compris entre 6,5 et 7,3.

Les teneurs en azote, phosphore assimilable et potassium disponible observées sont relativement faibles (BUNASOLS, 1990). D'un point de vue pédogénétique, les sols du Burkina sont développés, pour la plupart sur un matériau parental pauvre en éléments nutritifs majeurs (azote, phosphore et potassium) et ont une faible teneur en matière organique. Par ailleurs, ils sont souvent peu profonds et très sensibles à l'érosion hydrique du fait de leur forte instabilité structurale (Guillotez et al., 1992). Ils sont aussi très pauvres en bases échangeables à l'exception de ceux développés sur les roches basiques. La faible disponibilité du phosphore dans ces sols limite l'efficacité des engrains minéraux azotés et potassiques (M.A, 1999). Dans les 20 premiers centimètres, la texture varie de Limono-sableuse à Limono-argilo-sableuse. Leur réserve en minéraux altérables et leur capacité d'échange cationique sont faibles ainsi que le taux de matière organique (Feller, 1994). La CEC accuse également des valeurs peu élevées (1,77-6,24 cmol kg⁻¹) sur l'ensemble des deux dispositifs et à ce propos Delville et al. (1991) disaient que les sols ferrugineux tropicaux du fait de leur faible teneur en argile gonflantes ont en générale de faible CEC. Pour ce qui est du coefficient de saturation, il varie de 67% à 42%. Ces résultats sont en accord avec ceux de Zombré (2003) qui trouvait que les sols ferrugineux tropicaux lessivés avaient des coefficients de saturation supérieurs à 40%.

Conclusion partielle

Au terme de cette partie descriptive, le constat est qu'on rencontre uniquement des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés sur les dispositifs. Ils sont peu profonds avec une structure présentant des affleurements de la roche mère (cuirasse) par endroits. La charge en gravillon est assez importante en surface. Ils sont dans une grande majorité, défavorables à l'infiltration. Ce sont des sols pauvres en matière organique, en phosphore assimilable, en potassium disponible et en bases échangeables. Ces sols apparaissent donc potentiellement pauvres en nutriments minéraux et organiques essentiels pour la croissance et le développement des plantes. Ceux ci font que ce site nous semble être adapté à l'application du zaï et des cordons pierreux. Toutefois l'objectif rechercher serait de redonner au sol sa fertilité et de le rendre favorable à l'infiltration.

CHAPITRE 2 : CARACTERISATION DE LA VEGETATION

I- Matériel et méthode

I.1- Inventaire de la végétation initiale

Les parcelles de 50 x 50 m (2500 m^2) des deux dispositifs (DVAF et DVF) ont été subdivisées en des sous parcelles de $25 \times 25 \text{ m}$ (625 m^2). Pour la caractérisation des ligneux, un inventaire exhaustif a été réalisé sur ces parcelles de 625 m^2 . Des paramètres tels que le diamètre à la base (30 cm au dessus du sol), la hauteur totale, le diamètre moyen du houppier (cf fiche d'inventaire à l'**annexe 4**) ont été mesurés pour caractériser la végétation dans sa physionomie, sa composition et ses tendances évolutives.

I.1.1- Mesures de paramètres

I.1.1.1- Paramètres dendrométriques

Les caractéristiques dendrométriques ont été consignées dans des fiches d'inventaire et pour chaque pied, les mesures ont porté sur :

- le diamètre à la base (à 30 cm du sol)

Cette mesure est indispensable car elle intervient dans la structuration du peuplement forestier. Nous avons retenu 3 cm comme diamètre de recensabilité conformément aux travaux de Hien (2000), Ganaba et Kiema (2004) et Amani (2002) sur les ligneux sahéliens. En effet, l'état de dégradation avancée fait qu'on ne rencontre pas d'arbres sur le site mais des arbustes.

Le diamètre du fût est mesuré à la base du tronc pour la plus grosse tige, à cause de la présence de ramifications en dessous de la hauteur de poitrine, c'est-à-dire 1,30 m (Toutain et Piot, 1980 ; Hien, 2000 ; Amani, 2002). Le diamètre est obtenu à l'aide d'un pied à coulisse.

- la hauteur totale

Elle correspond à la distance verticale entre le niveau du sol et le sommet de l'arbre (Doulkom, 2000). Sa mesure est faite à l'aide d'une perche dendrométrique.

- le diamètre moyen du houppier (DMH)

Le houppier est l'ensemble des branches vivantes et des rameaux qui entourent la partie supérieure du tronc (Kaboré, 2002). Ainsi, pour calculer le recouvrement, Le Houerou (1980) préconise d'assimiler la couronne de l'arbre à un cercle ayant comme diamètre une moyenne établie à partir des mesures de deux dimensions extrêmes de la couronne. Ces dimensions de la couronne se mesurent selon deux directions perpendiculaires (d₁ et d₂) choisies au bas de chaque ligneux. Le DMH est obtenu à partir de la moyenne des deux mesures.

I.1.1.2- Données sur la vitalité des plantes

Il a été noté :

- les individus morts : est considéré comme individu mort, tout ligneux présentant un assèchement total de l'appareil aérien, dressé ou couché (Ganaba et Guinko, 1995). Cette valeur sert au calcul du taux de mortalité ;
- les coupes, sont considérées comme des coupes toutes les formes de prélèvement, aérien : ébranchage, émondage et étêtage. Ce paramètre permet l'appréciation du taux d'exploitation.

Les taux d'exploitation et de mortalité ont été définis par le rapport entre les pieds coupés ou morts et le nombre total d'individus de l'espèce considérée.

I.1.2- Paramètres évalués

Tous ces paramètres dendrométriques permettent d'évaluer la densité, la hauteur moyenne, le nombre moyen de tiges par pieds, le diamètre moyen et le recouvrement.

La densité (ha) : elle est définie comme étant le nombre d'individus considéré dans l'inventaire par unité de surface ramenée à l'hectare.

Le taux de recouvrement (R%) : traduit la projection au sol des houppiers. Il est obtenu par la formule suivante :

$$R\% = \frac{Sh}{Ss} \times 100 \quad \text{avec}$$

R = le taux de recouvrement exprimé en (%)

Sh = $\frac{1}{4}\pi D^2_{mh}$ = Surface du houppier

Ss = Surface de la parcelle d'inventaire

La structure du peuplement : c'est la distribution des arbres en classe de diamètre ; nous avons retenu les classes de diamètre classique de 5 cm en 5 cm à savoir :

- classe 5 ,5 (3cm-8cm),
- classe 10,5 (8cm-13cm),

Etc.

La stratification du peuplement : C'est la distribution des arbres en classe de hauteur. Elle permet de déterminer le type de végétation d'un site. Pour ce faire, la classification proposée par le MET en 1983 et relue en 1996 par le MEE a été adoptée (**annexe 5**). Nous avons considéré deux strates (arborée et arbustive) définies par cette classification. La classification a été faite en tenant compte de l'importance du taux de recouvrement et de la hauteur des individus (Doulkom, 2000).

Le taux de mortalité (M) : c'est le dénombrement des pieds morts par parcelle d'observation exprimé en pourcentage de l'effectif total des individus de la parcelle. Il a permis l'appréciation de la dynamique des ligneux.

Le taux de dynamique (D) : la dynamique est considérée comme la différence entre le taux de régénération et celui de la mortalité. Elle s'exprime ainsi :

D (%) = R-M avec :

D = taux de dynamique ;

R = taux de régénération ; M = taux de mortalité.

Le taux de reproduction par rapport à la mortalité (ROSELT/OSS, 2003) est un indicateur de la viabilité des populations végétales.

L'indice de présence

Nous avons défini pour chaque espèce son indice de présence. Aussi, nous sommes nous référé à la fréquence centésimale (FC) utilisée par Grouzis (1988). Elle est égale au rapport en pourcentage de la fréquence spécifique (FS = nombre de fois où cette espèce a été rencontrée) au nombre total d'individus recensés (N).

$$FC = \frac{FS}{N} \times 100$$

La liste des espèces ligneuses dominantes après recensement des individus dans les placettes est obtenue en classant par ordre décroissant leurs proportions par espèces. Ainsi, les espèces dont les proportions d'individus représentent plus de 5% des effectifs ligneux dans chaque traitement sont considérées comme dominantes (Ganaba et Guinko, 1995 ; Kiéma, 2007).

La similitude

Le coefficient de similitude retenu pour apprécier le degré de ressemblance de la végétation entre les différents types de sol est l'index de similitude de Jaccard (ISJ) parce qu'il tient compte uniquement de la présence des espèces dans la communauté étudiée, ce qui est primordial pour une étude de la diversité. L'ISJ varie de 0 (lorsqu'il n'existe aucune espèce en commun) à 1 lorsque les deux listes sont floristiquement identiques. Mais, pour mieux appréhender la notion, on peut aussi l'exprimer en pourcentage. Cet index est alors donné par le rapport suivant :

$$ISJ = \frac{c}{A + B - c} \times 100$$

c = nombre d'espèces communes à la liste 1 et à la liste 2 ; A = nombre d'espèces de la liste 1 ; B = nombre d'espèces de la liste 2. Les listes 1 et 2 d'espèces représentent successivement celles des deux types de sol à comparer (Kiéma, 2007).

Le fait que le feu soit passé avant le déroulement de nos travaux n'a pas permis un inventaire des herbacées. Néanmoins on notait la présence de certaines herbacées telles que *Andropogon ascinodis* C.B.Cl., *Loudetia togoensis* (Pilger) C.E Hubbard et des sous-ligneux comme *Cochlospermum planchonii* Hook.f. et *Fadogia agrestis* Schweinf ex Hiern.

II- Résultats et discussions

II.1- Résultat

II.1.1- Diversité floristique

Les **figures 11 et 12** ci-après présentent les spectres biologiques de la végétation ligneuse dans les différents dispositifs expérimentaux forestier et agroforestier.

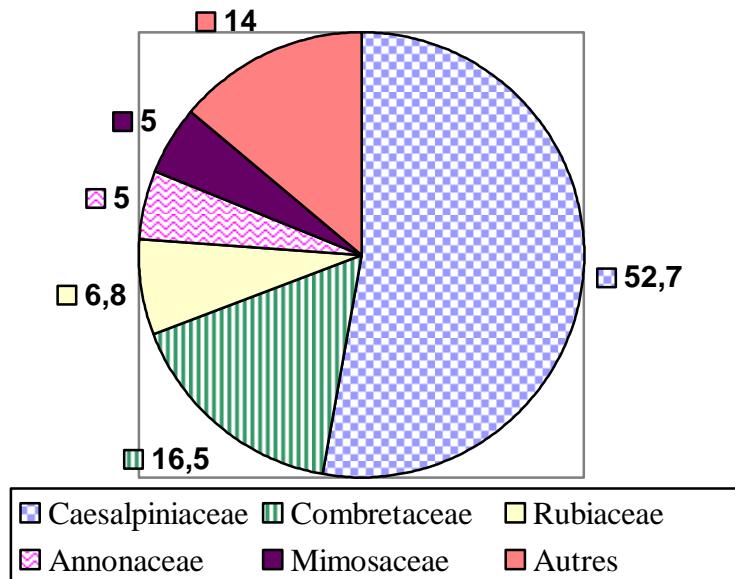


Figure 11 : Spectre biologique du dispositif à vocation forestière

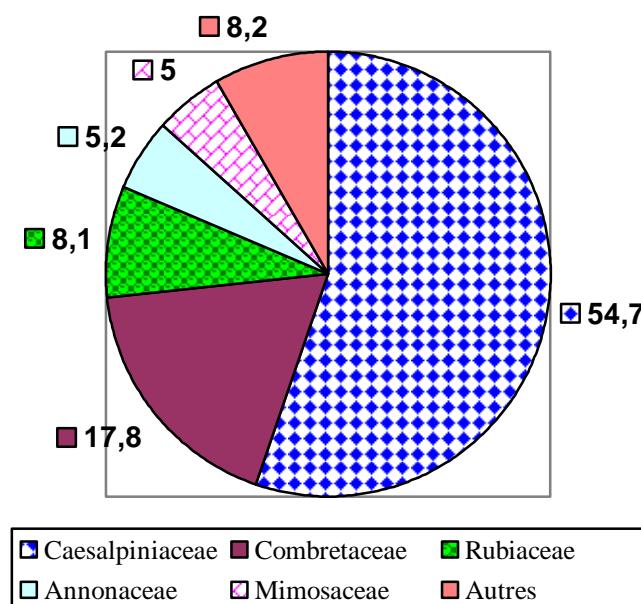


Figure 12 : Spectre biologique du dispositif à vocation agroforestière

De l'inventaire de la flore ligneuse on recense sur les parcelles du site retenu pour l'aménagement forestier 52 espèces regroupées dans 26 familles (**Annexe 6**) dont les plus dominantes sont : les *Caesalpiniaceae* (52,7%), les *Combretaceae* (16,5%), les *Rubiaceae* (6,8%), les *Annonaceae* (5%), les *Mimosaceae* (5%) et les autres familles 14%.

Dans les parcelles destinées à l'aménagement agroforestier, la liste floristique de l'inventaire donne 59 espèces appartenant à 22 familles (**Annexe 6**) dont les *Caesalpiniaceae* (54,7%), les *Combretaceae* (17,8%), les *Rubiaceae* (8,1%), les *Mimosaceae* (5%), les *Annonaceae* (5,2%) sont les plus abondantes et les autres familles 8,2%.

En associant les deux dispositifs nous avons recensé 71 espèces appartenant à 29 familles avec toujours les mêmes familles dominantes et l'espèce *Detarium microcarpum* Guill. et Perr (46,5%) comme espèce la plus fréquente.

Certaines espèces telles que *Combretum collinum* Fresen., *Gardenia erubescens* Stapf et Hutch., *Detarium microcarpum* Guill. et Perr. sont ubiquistes tandis que d'autres comme *Bridelia ferruginea* Benth, *Bridelia micrantha* (Hochst) Baill, *Baissea multiflora* A. DC., *Holarrhena floribunda* (G. Don.) Dur. et Schinz., *Terminalia laxiflora* Engl., et *Terminalia schweinfurthii* Engl. et Diels. sont rarement rencontrées sur le site.

II.1.2- Densité et état de la régénération

Pour l'évaluation de la densité des ligneux par parcelle, nous avons pris en considération deux catégories de plantes : les régénérations qui sont les individus ayant un diamètre inférieur à 3 cm et les individus adultes qui sont les individus ayant un diamètre supérieur ou égale à 3 cm. Ainsi le **tableau VI** ci-dessous donne les densités à l'hectare de la flore ligneuse du site.

Tableau VI: Densité à l'hectare des ligneux par catégorie

Parcelles	FB ₁₋₁	FB ₁₋₂	FB ₁₋₃	FB ₁₋₄	FB ₂₋₁	FB ₂₋₂	FB ₂₋₃	FB ₂₋₄	Moyenne
Régénération	556	96	280	644	1468	940	716	1224	741
Adultes	188	124	288	336	288	116	56	300	212
Total	744	220	568	980	1756	1056	772	1524	953
Parcelles	AB ₁₋₁	AB ₁₋₂	AB ₁₋₃	AB ₁₋₄	AB ₂₋₁	AB ₂₋₂	AB ₂₋₃	AB ₂₋₄	Moyenne
Régénération	2640	2012	1256	1348	488	456	488	996	1211
Adultes	352	180	220	396	140	120	204	316	241
Total	2992	2192	1476	1744	628	576	692	1312	1452

FB1-1= le premier chiffre renvoie au numéro du bloc et le second au numéro de la parcelle dans le bloc. F = dispositif forestier

Le **tableau VI** montre que la densité des espèces ligneuses dans les parcelles est faible. Elle présente des disparités d'une part entre les parcelles d'un même dispositif et d'autre part entre les deux dispositifs. Dans les parcelles du DVF, la plus grande densité est de 1756 pieds/ha (FB2-1) et la plus faible densité est observée dans la parcelle FB1-2 avec 220 pieds/ha (pieds adultes et régénération y compris). La densité moyenne dans ce dispositif est de 953 pieds/ha. Dans le dispositif destiné à l'aménagement agroforestier (DVAF), la parcelle la plus dense est AB1-1 avec 2992 pieds/ha et la plus faible densité est observée dans la parcelle AB2-2 (576 pieds/ha). Pour ce dispositif la densité moyenne est de 1452 pieds/ha.

Les espèces *Detarium microcarpum* et *Pteleopsis suberosa* sont celles qui régénèrent mieux dans tous les dispositifs. Leurs proportions sont respectivement de 44,78% et 5% dans le premier dispositif et 48% et 11,44% pour le second.

II.1.3- Taux de recouvrement

Le **tableau VII** présente les taux de recouvrement moyen de la végétation ligneuse par parcelle.

Tableau VII: Taux de recouvrement des parcelles du site d'étude

P. Forestières	FB1-1	FB1-2	FB1-3	FB1-4	FB2-1	FB2-2	FB2-3	FB2-4	Moyenne
R(%)	2,69	4,22	5,04	4,63	6,40	6,40	0,62	4,36	3,71
P. agroforestières	AB1-1	AB1-3	AB1-3	AB1-4	AB2-1	AB2-2	AB2-3	AB2-4	Moyenne
R(%)	3,53	2,47	1,98	4,51	2,58	1,96	4,05	3,48	3,07

FB1-1= le premier chiffre renvoie au numéro du bloc et le second au numéro de la parcelle dans le bloc. F = dispositif forestier

Le taux de recouvrement moyen est de 3,71% pour les parcelles du DVF et de 3,07 pour les parcelles du DVAF. Ces taux ne reflètent pas les taux de recouvrement d'une forêt classée et témoignent de l'état de dégradation du couvert ligneux de la forêt classée de Kuinima. Sur l'ensemble du site, *Gardenia erubescens* et *Annona senegalensis* s'imposent par leur physionomie. Leurs taux de recouvrement sont respectivement de 4,9% et de 4,4%. Par ailleurs, le genre *Gardenia* est épargné de la coupe et *Annona* a une forte capacité de régénération et une croissance rapide.

II.1.4- Structure

Les histogrammes relatifs à la répartition des individus par classe de diamètre mesurés à la base (30 cm au dessus du sol) sont représentés par les **figures 13 et 14**. En considérant la structure du peuplement sur le terrain, nous avons jugé opportun de ne retenir que les classes [3-8[et ≥ 8 cm pour l'étude de la structure. L'analyse des histogrammes laisse apparaître une concentration des individus observés dans la plus petite classe. Dans cette classe les valeurs vont de 77 à 90% pour les parcelles du DVAF contre 10 à 14% pour ce qui est de la classe supérieure.

Pour les parcelles du DVF on relève respectivement des valeurs allant de 57 à 97% pour la petite classe et 3 à 43% pour la classe supérieure.

Les plus gros diamètres sont des pieds de *Gardenia* parce que épargné des coupes contrairement aux autres genres. La pression anthropique ne laisse pas le temps au ligneux de croître.

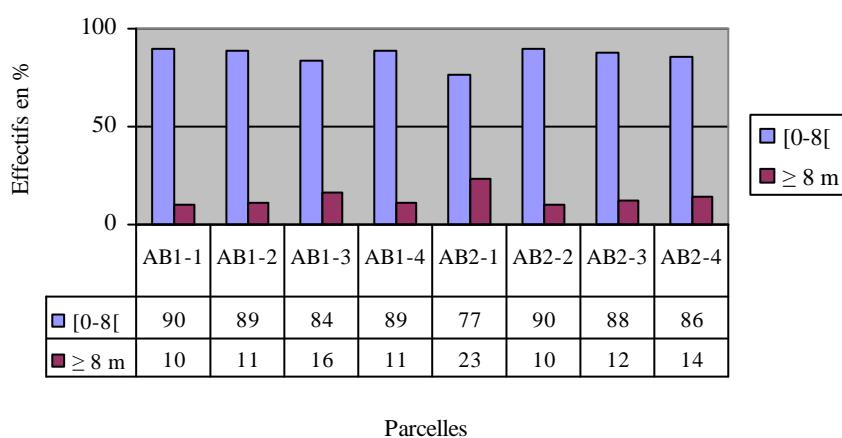


Figure 13 : Structure du peuplement ligneux du dispositif à vocation agroforestière

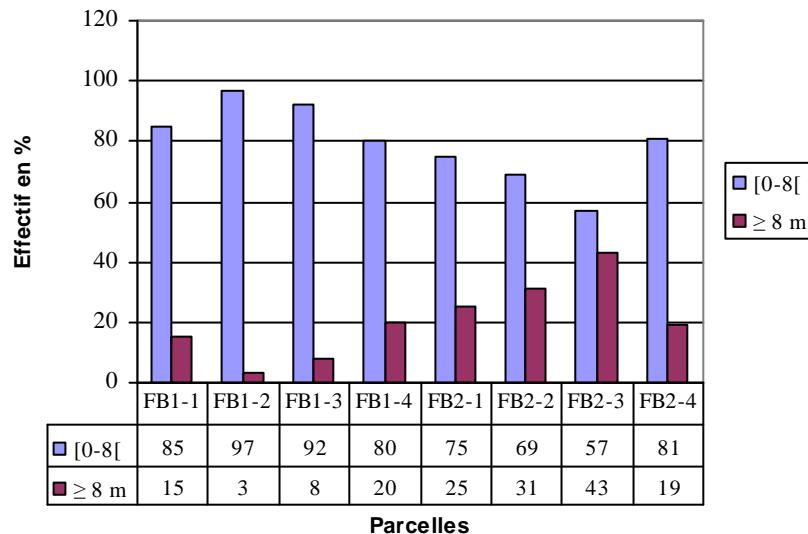


Figure 14 : Structure du peuplement ligneux du dispositif à vocation forestière

II.1.5- Stratification

Les **figures 15 et 16** donnent la structure verticale de la végétation ligneuse des différentes parcelles du site d'aménagement.

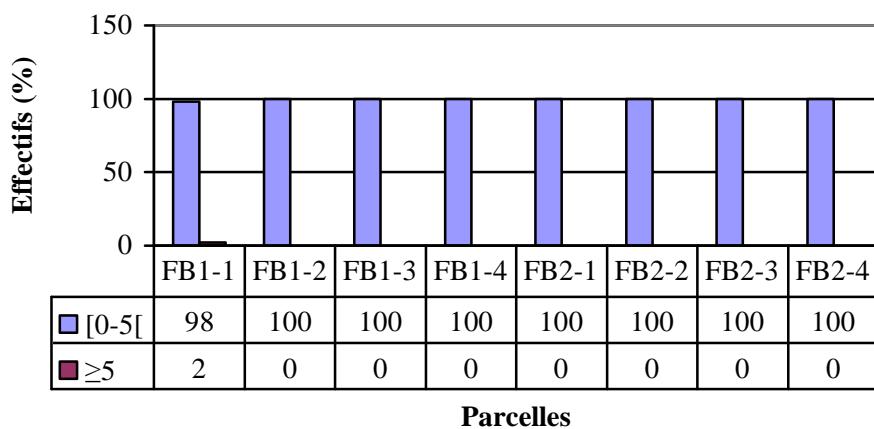


Figure 15 : Stratification de la végétation ligneuse du dispositif à vocation forestière

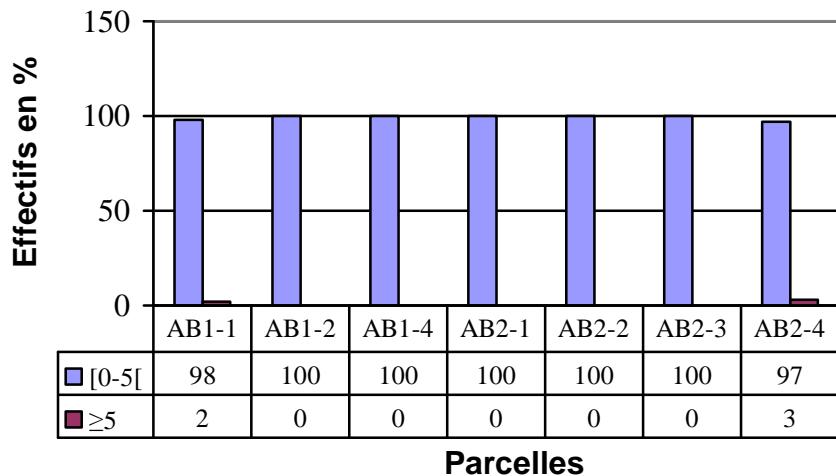


Figure 16: Stratification de la végétation ligneuse du dispositif à vocation agroforestière

A l'instar de la structure, les **figures 15 et 16** ci-dessus montrent une concentration des individus observés dans la petite classe de [0-5[mètres (97 à 100%) et une représentativité quasi nulle dans la classe ≥ 5 m (0 à 3%) pour ce qui est des parcelles du DVAF. Dans le DVF, la classe [0-5[renferme 98 à 100% des individus et la classe ≥ 5 m 0 à 2%. Les quelques individus observés dans cette dernière classe sont pour la plupart, des pieds appartenant aux espèces *Bombax costatum* Pellegr. et Vuillet, *Afzelia africana* et *Tamarindus indica* Linn.

II.1.6- Dynamique du peuplement ligneux

Les **tableaux VIII et IX** donnent les résultats de la dynamique du peuplement ligneux dans les différents dispositifs.

Tableau VIII : Dynamique du peuplement ligneux dans le dispositif à vocation forestière.

Parcels	FB1-1	FB1-2	FB1-3	FB1-4	FB2-1	FB2-2	FB2-3	FB2-4
Caractéristiques								
Coupe (%)	11,83	34,55	28,17	19,18	11,85	8,33	5,7	13,65
Mortalité (%)	3,23	0	0	0	0	0,76	0,52	0
Régénération (%)	74,73	43,64	49,3	65,71	83,6	89,06	92,75	80,31
Dynamique (%)	71,5	43,64	49,3	65,71	83,6	88,3	92,23	80,31

FB1-1= le premier chiffre renvoie au numéro du bloc et le second au numéro de la parcelle dans le bloc. F = dispositif forestier

Tableau IX: Dynamique du peuplement ligneux dans le dispositif à vocation agroforestière.

Parcels	AB1-1	AB1-2	AB1-3	AB1-4	AB2-1	AB2-2	AB2-3	AB2-4
Caractéristiques								
Coupe (%)	8,02	5,29	10,6	13, 3	15,29	11,11	19,65	11,28
Mortalité (%)	0,13	0	0,54	0	0	4,17	0	0,3
Régénération (%)	88,24	91,79	85,09	77,29	77,71	79,17	70,52	75,91
Dynamique (%)	88,11	91,79	84,55	77,29	77,71	75	70,52	75,61

AB1-1= le premier chiffre renvoie au numéro du bloc et le second au numéro de la parcelle dans le bloc. A = dispositif agroforestier

Les taux de coupe (C), de mortalité (M) et de régénération (R) sont exprimés en pourcentage de l'effectif total des individus recensés. En lisant les deux tableaux nous nous apercevons que les taux de mortalité sont minimes pour l'ensemble des parcelles des deux dispositifs ; des mortalités liées surtout à l'exploitation du bois et au passage du feu. Ces taux varient de 0 à 3,23% pour le DVF et de 0 à 0,54% pour le DVAF. Les taux de coupe sont relativement élevés et sont de l'ordre de 16,7% dans le DVF et 11,82% pour ce qui est du DVAF.

Nous remarquons aussi à travers ces deux tableaux que la tendance évolutive du peuplement ligneux (différence entre taux de régénération et taux de mortalité) est très positive pour toutes les parcelles. Elle s'évalue entre 43,64 et 92,23% dans le DVF et entre 70,52 et 91,79% dans le DVAF.

II.1. 7- Espèces spécifiques aux différents types de sol

Le **tableau X** met en relation les différents types de sol et la végétation ligneuse inventoriée sur le site.

Tableau X : Relation entre les différents types sol et la végétation ligneuse

Types de sol	Index de similitude Jaccard (%)	Espèces exclusives aux différents types de sol
FLIMP	-FLIP : 27,94 -FLIPP : 46,38 -FLIS : 43,67	<i>Afzelia africana, Bridelia micrantha, Erythrina senegalensis, Feretia apodantha, Hymenocardia heudelotii, Isoberlinia doka, Lannea acida, Lophira lanceolata, Manilkara multinervis, Maytenus senegalensis, Monotes kerstingii, Pericopsis laxiflora, Piliostigma thonningii, Prosopis africana, Psorospermum senegalense, Pterocarpus erinaceus, Saba senegalensis, Ochna schweinfurthiana, Terminalia avicennioides, T. simplicifolia, Trichilia emetica.</i>
FLIP	-FLIMP : 27,94 -FLIPP : 34,78 -FLIS : 36,96	<i>Bridelia ferruginea, Gardenia aqualla</i>
FLIPP	-FLIMP: 46,38 -FLIP: 34,78 -FLIS: 67,39	<i>Ximenia americana, Ziziphus mauritiana, Z. mucronata</i>
FLIS	-FLIMP: 43,67 -FLIP: 36,96 -FLIPP: 67,39	<i>Maerua angolensis, Holarrhena floribunda</i>

FLIMP : sols Ferrugineux tropicaux Lessivés Indurés Moyennement Profond s

FLIP : sols Ferrugineux tropicaux Lessivés Indurés Profonds

FLIPP : sols Ferrugineux tropicaux Lessivés Indurés Peu Profonds

FLIS : sols Ferrugineux tropicaux Lessivés Indurés Superficiels

Sur le plan spécifique, nous constatons que 21 espèces ont pour préférence les FLIMP contre 2, 3 et 2 respectivement pour les FLIP, les LIPP et les FLIS. La profondeur du sol peut être un facteur limitant pour l'apparition et le développement de certaines espèces ligneuses.

Le coefficient de similitude de Jaccard des relevés de la végétation des différents types de sol comparé deux à deux, donne des valeurs inférieures à 50 %, sauf entre les relevés des FLIS et FLIPP, où cette valeur est supérieure à 50 %.

II.2- Discussion

En prenant en compte les deux dispositifs, 71 espèces ligneuses ont été recensées, appartenant à 29 familles avec les *Caesalpiniaceae*, les *Combretaceae*, les *Rubiaceae*, les *Annonaceae*, les *Mimosaceae* comme familles dominantes en terme de densité et de fréquence. Ces familles sont caractéristiques du domaine soudanien (Arbonier, 2009 ; Sambou, 2004). Certaines espèces telles que *Combretum collinum* Fresen., *Gardenia erubescens* Stapf. et Hutch., *D. microcarpum* Guill. et Perr. sont ubiquistes, tandis que d'autres comme *Bridelia ferruginea* Benth, *Bridelia micrantha* (Hochst) Baill., *Baissea multiflora* A. DC., *Holarrhena floribunda* (G. Don.) Dur. et Schinz., *Terminalia laxiflora* Engl., et *T. schweinfurthii* Engl. et Diels. sont rarement rencontrées sur le site. Ces résultats sont différents de ceux d'une autre étude (Noula, 2006) menée dans la même forêt qui avait recensé 57 espèces ligneuses et où *Vitellaria paradoxa* (Gaertn. F.) Heppr. (52 %) était l'espèce dominante. L'explication de cette différence pourrait être surtout le fait que le diamètre de recensabilité utilisé (5 cm) était plus élevé. En outre, *V. paradoxa* est épargnée et même plantée dans les champs à cause de ses fruits et des chenilles que l'on retrouve sur ses pieds et qui sont très appréciés dans la région. Dans nos sous-parcelles, *D. microcarpum* Guill. et Perr. (46,5 %) est la plus fréquente. Le système racinaire de cette espèce, à la fois pivotant et traçant, favorise l'émission de rejets de souche et de drageons (Ouedraogo, 1997). C'est ce qui justifie sans doute sa prédominance sur nos différents dispositifs. L'abondance numérique des régénérations constitue une donnée de base pour l'appréciation de la reconstitution de la végétation naturelle. Cependant, la régénération est mauvaise sur le DVF. En effet, le nombre moyen de plantules qui y est dénombré est inférieur à 1000 pieds/ha (Gampine et Boussim, 1995).

La coupe abusive des ligneux dénude le sol, favorisant ainsi l'érosion et le ruissellement. Ces phénomènes décapent la couche arable du sol, tout en l'appauvrissant. Les taux de coupe relativement élevés sont de l'ordre de 16,7 % pour le DVF et de 11,8 % pour le DVAF. Cette coupe de bois est l'œuvre des populations riveraines en quête de bois-énergie, de charbon de bois et l'exploitation des plantes médicinales. L'exploitation du bois constitue la principale activité des femmes pendant la saison sèche. Le taux de mortalité est en moyenne de 0,56 % pour le DVF et de 0,64 % pour le DVAF. Ces mortalités sont surtout liées à la coupe et au passage des feux. Ce dernier facteur constitue l'une des principales menaces à la conservation et à l'utilisation durable de la diversité biologique. La tendance évolutive du peuplement ligneux, qui correspond à la différence entre le taux de régénération et le taux de mortalité, est très positive pour toutes les sous-parcelles. Par ailleurs, le rapport entre la mortalité et la

régénération continue de la végétation est en faveur du second. La dynamique des savanes repose essentiellement sur les diverses formes de régénération (semis, rejets, drageons) qui assurent la pérennité des espèces au sein de l'écosystème (Thiombiano, 1996). La coupe pratiquée par les riverains chaque année ne permet pas aux arbres de croître et d'avoir une taille adulte. Avec un taux de recouvrement moyen de 3% et une strate ligneuse inférieure à 5 m, la classification de la végétation adoptée par le ministère de l'environnement et de l'eau en 1996 (Annexe 5) situerait ce site dans la savane arbustive claire à *Detarium microcarpum* Guill. et Perr (46,5%).

La relation sol/plante se traduit par une localisation préférentielle de bon nombre d'espèces sur divers sols. Cette préférence est plus orientée vers les FLIMP où l'on dénombre 21 espèces exclusives. Les différentes espèces recensées sur les FLIMP ont la plupart pour habitat les savanes soudaniennes à soudano-guinéennes (Arbonier, 2009). Le coefficient de similitude de Jaccard qui compare les communautés végétales, utilisé ici pour les différents types de sol, a révélé une différence significative ($ISJ < 50\%$) dans leur ensemble, sauf entre les relevés des FLIS et FLIPP, où cette valeur est supérieure à 50 %. C'est la preuve que la profondeur n'est pas forcément le facteur déterminant le développement de la végétation.

Conclusion partielle

Parmi les éléments d'appréciation à la fois quantitative et qualitative des processus de régénération de la composante ligneuse, on retiendra que la densité des ligneux est faible et la régénération mauvaise sur les parcelles forestières. Néanmoins, la tendance évolutive est très positive dans toutes les parcelles. La faible densité des ligneux et leur mauvaise régénération sur le DVF montrent la nécessité de poursuivre cette étude par l'implantation des différents traitements et leur suivi. Les zaï agricoles et forestiers, les cordons pierreux permettront d'atteindre les objectifs de la réhabilitation. Cela est réalisable dans la mesure où l'écosystème forestier est suffisamment résilient. La finalité de l'étude étant de parvenir à réhabiliter l'écosystème dégradé, après l'administration des traitements, le suivi concernera les propriétés physicochimiques du sol, la dynamique du couvert végétal et la croissance et le rendement du sorgho.

TROISIEME PARTIE : ETUDE D'IMPACTS DES DISPOSITIFS CES/DRS

CHAPITRE 1 : IMPACT DES DISPOSITIFS DE CES/DRS SUR LES PROPRIETES BIOPHYSICOCHIMIQUES ET HYDRODYNAMIQUES DU SOL

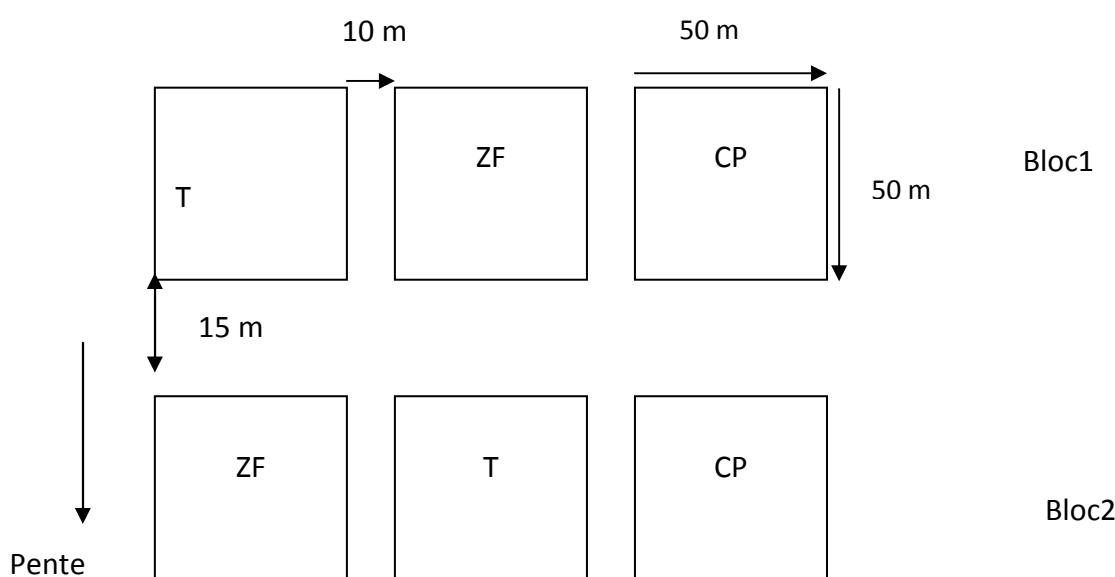
I- Matériel et méthode

Après l'étude descriptive, les dispositifs expérimentaux utilisés pour évaluer l'impact des CES/DRS sont représentés par les **figures 17 et 18**.

Traitements et Dispositifs expérimentaux

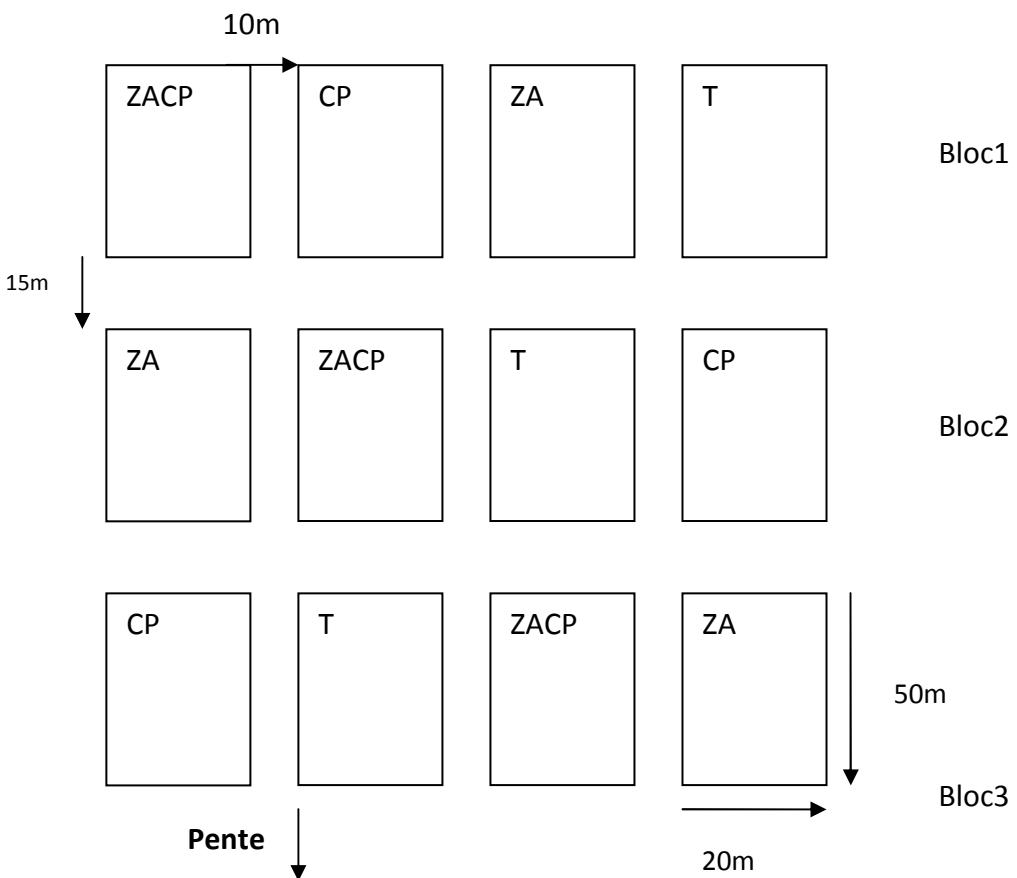
Les traitements associés au dispositif expérimental forestier sont des cordons pierreux (CP), du zaï forestier (ZF) et un témoin (T). C'est un dispositif en bloc Fisher complètement randomisé avec deux répétitions. Les parcelles sont carrées de 50 m × 50 m.

Les traitements associés au dispositif expérimental agroforestier sont des cordons pierreux (CP), du zaï agricole (ZA), une association cordons pierreux et zaï agricole (ZACP). C'est aussi un dispositif expérimental en bloc Fisher complètement randomisé avec trois répétitions. Les traitements sont appliqués dans des parcelles de 20 m × 50 m. L'apport du fumier est fait à la dose de 157 g par poquet pour respecter la dose recommandée par la recherche pour maintenir la production (Barro et *al.*, 2005). En année 2, de nouveaux poquets sont creusés puis en année 3 on revient sur les poquets de l'année 1. Cette procédure selon Zougmoré et *al.* (2003a), permettrait au bout de 5 ans de rendre la terre encroûtée en un champ cultivable sans Zaï. Avant les semis, les parcelles T et CP sont labourée à la traction bovine (**Annexe 7**)



CP= cordons pierreux; ZF= zaï forestier; T= témoin

Figure 17: Dispositif expérimental forestier.



CP = cordons pierreux, T = témoin, ZACP = zaï agricole + cordons pierreux, ZA = zaï agricole

Figure 18 : Dispositif experimental agroforestier

I. 1- Etude des propriétés physicochimiques

Les échantillons de sol utilisés pour les analyses ont été prélevés dans la profondeur 0 à 20 cm. Pour les parcelles de ZA, ZF et de ZACP, les prélèvements ont été faits dans les poquets et dans les inters poquets. Les prélèvements ont été réalisés en cinq endroits sur les diagonales de chaque parcelle (**fig. 19**). Puis, un échantillon composite a été prélevé par parcelle, pour le traitement T et le CP et un pour chacun des deux niveaux (poquets et inter poquets) pour les parcelles de ZA, ZF et de ZACP. Les échantillons ont été analysés au laboratoire du bureau national des sols (BUNASOLS) au Burkina Faso suivant le protocole décrit dans le chapitre 1 de la deuxième partie. Les prélèvements ont été effectués en décembre 2007 lors de la mise en place du dispositif et en novembre 2009. Au laboratoire, les analyses ont porté sur la granulométrie cinq fractions, la matière organique (MO), l'azote total (N), le phosphore assimilable (Pa), le potassium disponible (Kd), les bases échangeables (BE), la capacité d'échange cationique (CEC) et le pH eau.

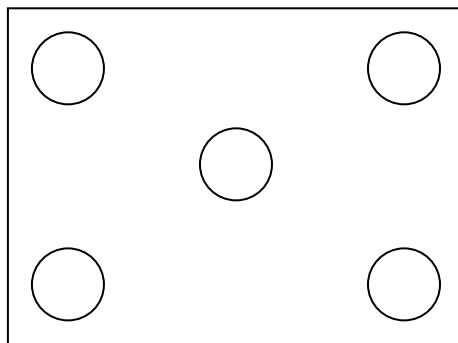


Figure 19 : Distributions des points de prélèvement des échantillons de sol au niveau de la parcelle.

I. 2- Etude des propriétés biologiques

I. 2. 1- Etude de l'impact des différents traitements sur l'activité respiratoire du sol

Cette étude a été réalisée par la technique de la mesure du CO₂ dégagé par la biomasse microbienne ; méthode développée par Dommergues (1960) et adaptée par Asimi et *al.*, (2000a), Asimi (2009) et Pallo (2009).

Cent (100) grammes de sol, tamisés à 2 mm et humidifiés aux 2/3 de la capacité maximale de rétention, sont introduits dans un bocal hermétiquement fermé. Deux flacons, l'un contenant de la soude (NaOH 0,1 N) pour piéger le CO₂ dégagé et l'autre contenant de l'eau distillée pour maintenir l'humidité constante, sont disposés dans chaque bocal. L'ensemble est placé dans une étuve réglée à 28°C pendant 14 jours. La quantité de CO₂ dégagée est mesurée quotidiennement durant les 8 premiers jours d'incubation, puis tous les deux jours jusqu'au 14^{ème} jour. Le CO₂ dégagé au cours de l'expérimentation est piégé par la soude (NaOH, 0,1 N) et précipité sous forme de carbonate de sodium par le chlorure de baryum 3%. La soude (NaOH) en excès est neutralisée par l'acide chlorhydrique (HCl 0,1 N) en présence de phénolphtaléine. La quantité de CO₂ dégagée par jour est exprimée en mg /100g de sol sec et donnée par la formule suivante :

$$Q (\text{mg}) = [V_{\text{HCl}} (\text{blancs}) - V_{\text{HCl}} (\text{traitement})] \times 2,2$$

Avec : - V_{HCl} (blancs) = volume moyen d'acide chlorhydrique pour le témoin

- V_{HCl} (traitement) = volume moyen d'acide chlorhydrique pour le traitement

- le coefficient 2,2 signifie qu'à 2,2 mg de CO₂ correspond 1 ml de HCl (0,1N) (Segda, 2006).

I. 2. 2- Etude de l'impact des différents traitements sur la biomasse microbienne du sol

La méthode par fumigation-incubation est utilisée. Dans un premier temps les échantillons de sol sont exposés à la vapeur de chloroforme qui tue les microorganismes et libère les composés organiques contenus dans leurs parois. Les échantillons de sol fumigés sont ensuite incubés à 28°C pendant 14 jours et le CO₂ dégagé est mesurée. La biomasse microbienne (BM) est estimée à l'aide de la formule utilisée par Chaussod *et al.*, (1986) et Fardoux *et al.*, (2000) ; Asimi *et al.* (2000b) et Lombo (2007):

$$\text{BM (mg)} = (\text{F}_{0-7} - \text{F}_{7-14}) / \text{Kc} \text{ où:}$$

F₀₋₇ est le CO₂ dégagé entre 0 et 7 jours par les échantillons fumigués,

F₇₋₁₄ le CO₂ dégagé entre 7 et 14 jours par les échantillons fumigués,

Kc est égale 0,41 coefficient proposé par Nicolardot *et al.* (1982) et utilisé par Asimi *et al.* (2000a) et Lombo (2007).

I. 3- Propriétés hydrodynamiques

I. 3. 1- Potentiels capillaires

Les trois pF considérés sont pF4,2 ; pF3,0 ; pF2,5. Ils correspondent respectivement aux pressions de 15,1 et 0,3 bars. Chaque pF est obtenu en soumettant l'échantillon de sol ($\emptyset < 2$ mm), préalablement saturé d'eau, à la pression correspondante. L'eau en excès est ainsi éliminée jusqu'à l'établissement d'un équilibre entre la pression et la force de rétention par le sol. Les presses sont équipées de plaques de porcelaine poreuses de 0 à 4 kg/m² et de 0 à 20 kg pour les pF3,0 et 2,5 ; d'une membrane de 0 à 20 kg, pour pF4,2. Le taux d'humidité de l'échantillon est exprimé en pourcentage de terre séchée à 105°C. Les différents pF permettent de calculer la réserve en eau utile (RU) du sol.

I. 3. 2- Mesure de perméabilité par l'infiltromètre

La méthode utilisée est la méthode de l'infiltromètre double anneau utilisé par Cerdan *et al.* (2004), Savadogo *et al.* (2007) et El Garouani *et al.* (2005).

I. 3. 2.1- Description générale

Cet appareil se compose d'un anneau de garde en P.V.C de diamètre 315 mm muni de 3 poignées et relié par 3 voiles à un centreur de diamètre 160 mm, un ensemble flotteur tube guide en P.V.C : tube guide de diamètre 80 mm, flotteur de diamètre 74 mm et de hauteur 70 mm avec une règle de lecture (**Fig. 20**).

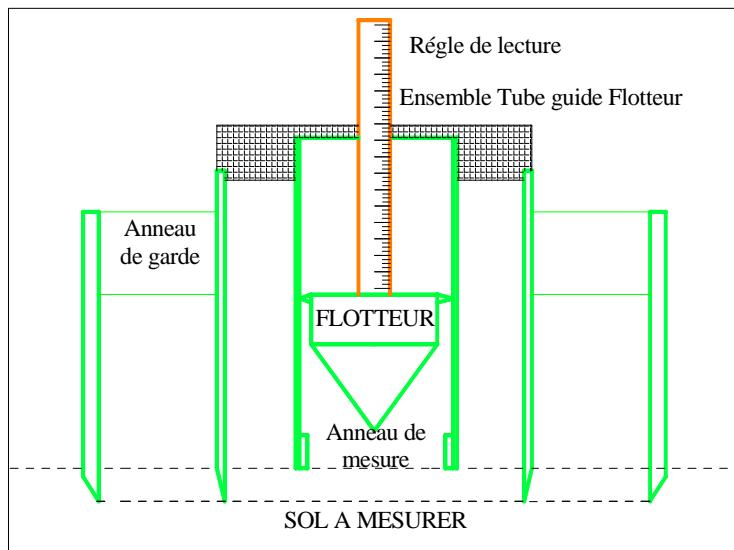


Figure 20 : Schéma du principe de l'infiltromètre double anneau

I. 3. 2. 2- Réalisation de mesures

Le sol est décapé jusqu'à la cote où l'on veut effectuer la mesure, une aire de 0,5m par 0,5m est la surface minimale nécessaire. La cellule de garde est réalisée en mettant en place un anneau de garde et en réalisant une excavation pouvant contenir cet anneau de garde. L'anneau de garde (ou l'excavation) est rempli d'eau au niveau requis ; les trous des voiles servent de repères Mini-Maxi et pour l'horizontalité. Son rôle est d'assurer l'humectation latérale parasite du sol et, par conséquent, de permettre d'assimiler le débit du cylindre de mesure à une infiltration cylindrique verticale. On enfonce l'anneau métallique (cellule de mesure) dans le sol d'une profondeur suffisante pour assurer l'étanchéité entre les 2 cellules, soit environ 5 cm ; cet enfouissement se fait de préférence par pression afin de limiter les perturbations du sol ; (l'enfoncement par battage à l'aide du maillet caoutchouc est toutefois possible). Après la mise en place de la tête avec le tube guide et le flotteur, le dispositif ne

doit plus être modifié. Cette phase permet la réalisation de la saturation. On procède ensuite au relevé des valeurs au temps initial puis la valeur affichée aux temps : 10'' ; 1' ; 2' ; 4' ; 5' ; 6' ; 8' ; 10' ; 15' ; 20' ; 30' ; 40' ; 50' ; 60' ; 90' ; 120' ; puis toutes les heures. Compte tenu de la sensibilité de cet appareillage, le suivi de la température ambiante n'est pas nécessaire. Un relevé en cours d'essai est suffisant. On s'assure que le diagramme Lecture/Temps est bien linéaire et donc que la saturation est effective. Deux essais ont été appliqués sur chaque parcelle ; l'un en haut de pente et l'autre en bas de pente. Dans les parcelles de Z et de ZCP, les essais ont été menés dans les poquets et dans les espaces hors poquets. Au total 36 essais ont été réalisés dans les parcelles agroforestières.

I. 3. 2. 3- Expression des résultats

Cet appareil donne directement une lecture en hauteur d'eau dans la cellule de mesure ; Soit H cette hauteur ; le coefficient d'infiltration verticale, est donné par :

$$K_v = (\Delta H \text{ final} - \Delta H \text{ initial}) / \Delta T \text{ (en m/s)}$$

avec ΔH exprimé en mètres et ΔT en secondes

avec ΔH exprimé en millimètres et ΔT en seconde le résultat s'exprime en 10^{-3} m/s

I. 4- Analyse des données

Les données ont été saisies avec le tableur Excel et le logiciel SPSS 11. 0 a servi à l'analyse de variance au seuil de 5%. Le test de Newman Keuls a été utilisé pour la séparation des moyennes.

II- Résultats et discussions

II. 1- Résultats

II. 1. 1- Propriétés physiques

Dans cette partie, les résultats de l'analyse des propriétés physiques de 2007 sont comparés à ceux de 2009 en fonction des traitements et ce pour les parcelles forestières d'une part, et d'autre part, pour les parcelles agroforestières.

II. 1.1.1- Parcelles forestières

Le tableau XI présente la variation de la texture du sol dans les parcelles forestières entre 2007 et 2009. Les différentes fractions granulométriques ont évolué différemment dans les traitements. Ainsi, en 2009 les différents traitements ont connu des hausses significatives ($p = 0,017$) de la teneur en argile par rapport au T. Les hausses ont été de $7,5 \text{ gkg}^{-1}$; $17,5 \text{ gkg}^{-1}$ et $18,8 \text{ gkg}^{-1}$ pour le CP, le ZF-P et le ZF-HP respectivement. Comparativement à l'état initial (2007), les teneurs en argile du sol ont régressé sur l'ensemble des parcelles. Ces baisses varient entre 60 gkg^{-1} et $11,25 \text{ gkg}^{-1}$.

Pour les limons fins, les teneurs en 2009 ne sont pas statistiquement différentes. Par contre, comparé à 2007, le T et le CP ont enregistré des baisses respectives de leur teneur en limons fins de $41,2 \text{ gkg}^{-1}$ et de $17,5 \text{ gkg}^{-1}$. Par contre le ZF a enregistré une hausse de sa teneur en limons fins de $22,5 \text{ gkg}^{-1}$ à l'intérieur des poquets et $12,5 \text{ gkg}^{-1}$ dans les espaces inter-poquets. En 2009, les teneurs du sol en limons grossiers sont hautement significatives dans les traitements comparativement au T ($p = 0,000$). Les hausses ont été respectivement de $31,9 \text{ gkg}^{-1}$; $33,9 \text{ gkg}^{-1}$ et $37,9 \text{ gkg}^{-1}$ pour le CP, le ZF-P et le ZF-HP. Par ailleurs, si l'on compare les teneurs en limons grossiers de 2007 et de 2009, on note une baisse généralisée. Ces baisses varient entre $169,9 \text{ gkg}^{-1}$ et $203,3 \text{ gkg}^{-1}$.

En ce qui concerne les sables fins, les teneurs sont statistiquement similaires entre les traitements et le T. Néanmoins, les teneurs de 2009 connaissent de fortes hausses comparativement à 2007. Ces hausses varient de 240 gkg^{-1} dans le T à $290,8 \text{ gkg}^{-1}$ dans le ZF. Les sables grossiers également, ne diffèrent pas significativement en 2009 entre les traitements et le T. Comparativement à 2007, les teneurs en sables grossiers varient de $-52,1 \text{ gkg}^{-1}$ dans le T ; $19,2 \text{ gkg}^{-1}$ dans le CP ; 27 gkg^{-1} dans le ZF-P et $49,1 \text{ gkg}^{-1}$ dans le ZP-HP.

Tableau XI : Variation de la texture du sol dans les parcelles forestières entre 2007 et 2009

Traitements	Granulométrie (gkg^{-1})									
	Argiles		Limons fins		Limons grossiers		Sables fins		Sables grossiers	
	2007	2009	2007	2009	2007	2009	2007	2009	2007	2009
T	187,5	127,5 ^b	137,5	96,3	317,2	147,3 ^b	196,7	436,8	161,1	109
CP	233,8	135 ^{ab}	126,3	108,8	382,5	179,2 ^a	156	439,8	101,6	121
ZF-P	257,5	145 ^a	100	112,5	361,5	181,2 ^a	164,1	442,4	116,9	143,9
ZF-HP		146,3 ^a		122,5		185,1 ^a		454,9		166
Probabilité	0,470	0,017	0,284	0,330	0,153	0,000	0,358	0,403	0,186	0,105
Signification	NS	S	NS	NS	NS	HS	NS	NS	NS	NS

CP = cordons pierreux, T = témoin, ZF-P = poquet du traitement zaï forestier, ZF-HP = espace inter poquet du traitement zaï forestier. NS = non significatif, S = significatif, HS = hautement significatif
Dans la même colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

II. 1.1.2- Parcelles agroforestières

La variation de la texture du sol dans les parcelles agroforestières est présentée dans le **tableau XII**. Pour l'argile, on remarque qu'en 2009 les teneurs dans le traitement ZA-P est significativement supérieure au T ($p = 0,048$). Par contre les autres traitements ne diffèrent pas du T. Comparativement à 2007, la teneur en argile a baissé dans le T de $24,2 \text{ gkg}^{-1}$; $15,8 \text{ gkg}^{-1}$ dans le CP; $43,3 \text{ gkg}^{-1}$ dans le ZA-HP et $5,9 \text{ gkg}^{-1}$ dans le ZACP-HP. Dans le ZA-P et ZACP-P les teneurs sont restées sensiblement les mêmes.

L'analyse de variance révèle que les teneurs en limons fins (2009) sont significativement différentes entre les traitements ($p = 0,027$). Les hausses significatives par rapport au T ont été enregistrées dans le ZA-P ($28,3 \text{ gkg}^{-1}$), dans le ZACP-P ($37,5 \text{ gkg}^{-1}$) et dans le ZACP-HP ($29,2 \text{ gkg}^{-1}$). Les teneurs en limons fins dans le traitement CP et le T ont évolué négativement par rapport à 2007. Les baisses sont de $7,5 \text{ gkg}^{-1}$ dans le T et de $2,8 \text{ gkg}^{-1}$ dans le CP. Cependant le ZA-P, le ZA-HP, le ZACP-P et le ZACP-HP ont connu des hausses respectives de $45,8 \text{ gkg}^{-1}$; $16,7 \text{ gkg}^{-1}$; $28,3 \text{ gkg}^{-1}$ et 20 gkg^{-1} .

La fraction limons grossiers enregistre des teneurs statistiquement similaires dans tous les traitements. Néanmoins, les teneurs de cette fraction ont régressés dans tous les traitements comparativement à 2007. Les baisses sont dans l'ordre respectif de $183,2 \text{ gkg}^{-1}$; 203 gkg^{-1} ; $180,8 \text{ gkg}^{-1}$; $196,1 \text{ gkg}^{-1}$; $191,1 \text{ gkg}^{-1}$ et $199,5 \text{ gkg}^{-1}$ pour le T, le CP, le ZA-P, le ZA-HP, le ZACP-P et le ZACP-HP.

En ce qui concerne les sables fins, les teneurs sont statistiquement similaires entre les traitements et le T. Cependant, les teneurs de 2009 connaissent de fortes hausses comparativement à 2007. Ces hausses varient de 228 gkg^{-1} dans le ZACP-P à $265,7 \text{ gkg}^{-1}$ dans le ZA-HP.

Pour ce qui est des sables grossiers, leurs teneurs diffèrent significativement d'un traitement à l'autre pour les prélèvements de 2009 ($p = 0,030$). Les teneurs en sables grossiers du T ($99,8 \text{ gkg}^{-1}$) et du CP ($90,6 \text{ gkg}^{-1}$) sont significativement supérieures aux teneurs du ZA-P ($48,7 \text{ gkg}^{-1}$) et du ZACP-P ($48,8 \text{ gkg}^{-1}$). Comparativement à 2007, les teneurs du sol en sables grossiers ont baissé. Ces variations fluctuent entre $22,9 \text{ gkg}^{-1}$ dans le CP à $68,2 \text{ gkg}^{-1}$ dans le ZA-P.

Tableau XII : Variation de la texture du sol dans les parcelles agroforestières entre 2007 et 2009

Traitements	Granulométrie (gkg^{-1})									
	Argiles		Limons fins		Limons grossiers		Sables fins		Sables grossiers	
	2007	2009	2007	2009	2007	2009	2007	2009	2007	2009
T	224,2	200 ^b	125	117,5 ^c	330,4	147,2	184,3	435,5	136,1	99,8 ^a
CP	225	209,2 ^b	125,8	122,5 ^{bc}	370,4	167,4	165,2	410,2	113,5	90,6 ^a
ZAP	257,5	257,5 ^a	100	145,8 ^{ab}	361,5	180,7	164,1	367,2	116,9	48,7 ^b
ZA-HP		214,2 ^b		116,7 ^c		165,4		429,8		74 ^{ab}
ZACP-P	231,7	233,3 ^{ab}	126,7	155 ^a	369,6	178,5	156,3	384,3	115,8	48,8 ^b
ZACP-HP		225,8 ^{ab}		146,7 ^{ab}		170,1		392,6		64,8 ^{ab}
Probabilité	0,925	0,048	0,563	0,027	0,508	0,456	0,809	0,070	0,885	0,039
Signification	NS	S	NS	S	NS	NS	NS	NS	NS	S

CP = cordons pierreux, T = témoin, ZACP-HP = espace inter poquet du traitement zaï agricole + cordons pierreux, ZACP-P = poquet du traitement zaï agricole + cordons pierreux, ZA-HP = espace inter poquet du traitement zaï agricole, ZA-P = poquets du traitement zaï agricole. NS = non significatif, S = significatif, HS = hautement significatif

Dans la même colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

II. 1. 2- Propriétés chimiques

II. 1. 2. 1- Parcelles forestières

L'évolution des différents paramètres chimiques dans les traitements du dispositif forestier est présentée dans le **tableau XIII**. On note des variations entre traitements et des changements à l'intérieur des traitements d'une année à l'autre. L'analyse de variance montre qu'il existe une

différence significative ($p = 0,047$) en matière organique (MO) entre les différents traitements pour l'année 2009. La MO du CP, du ZF-P et du ZF-HP s'est améliorée respectivement de 6,8 gkg⁻¹; 6,4 gkg⁻¹ et 2,3 gkg⁻¹ par rapport au T. Comparativement à 2007, la teneur du sol en MO a varié de -1,3 gkg⁻¹ pour T ; 8,9 gkg⁻¹ pour CP ; 8,3 gkg⁻¹ pour ZF-P et 4,2 gkg⁻¹ pour ZF-HP.

L'azote total (N) n'a pas changé significativement entre les traitements et le T (2009). Mais comparativement à 2007, il a légèrement augmenté dans les traitements et régressé dans le T. Le rapport C/N quant à lui a varié significativement ($p = 0,040$) d'un traitement à l'autre (2009). Le CP, le ZF-P et le ZF-HP ont permis d'élever le rapport C/N respectivement de 1,5 ; 4 et 1 unité par rapport au T. Le rapport C/N a également varié entre 2007 et 2009 à l'intérieur des traitements et du T. Ainsi il est passé de : 12,25 à 12,50 dans le T ; 11,75 à 14 dans le CP ; 12,5 à 16,5 dans le ZF-P et 13,5 dans le ZF-HP.

Pour ce qui concerne le phosphore assimilable (Pa), l'analyse de variance montre une différence hautement significative ($p = 0,007$) entre les traitements en 2009. La teneur du sol en Pa s'est accrue dans le CP et le ZF-P de 1,6 mgP kg⁻¹ et de 25,13 mgP kg⁻¹. Entre 2007 et 2009 des hausses de Pa ont été enrégistrées de 2,23 mgP kg⁻¹ dans le T ; 3,54 mgP kg⁻¹ dans le CP ; 27,29 mgP kg⁻¹ dans le ZF-P et 2,12 mgP kg⁻¹ dans le ZF-HP. Le potassium disponible (Kd), a enregistré des augmentations significatives ($p = 0,049$) au niveau des traitements par rapport au T (2009). Les hausses ont été de 4,2 mgK kg⁻¹ pour le CP et 216,96 mgK kg⁻¹ pour le ZF-P. Comparativement à 2007, le Kd s'est amélioré de 30,9 mgK kg⁻¹ dans le T et de 18,5 à 240,15 mgK kg⁻¹ dans les traitements.

L'analyse de variance révèle une différence hautement significative ($p = 0,001$) pour ce qui est de la somme des bases échangeables (BE) de l'année 2009. Comparé au T, le CP, le ZF-P et le ZF-HP ont permis d'accroître les BE respectivement de 0,66 cmol kg⁻¹, 2,86 cmol kg⁻¹ et 1,83 cmol kg⁻¹. De 2007 à 2009, les BE ont augmenté de 0,17 cmol kg⁻¹ dans le T, de 0,96 cmol kg⁻¹ dans le CP, de 2,66 cmol kg⁻¹ dans le ZF-P et de 1,63 cmol kg⁻¹ dans le ZF-HP.

La capacité d'échange cationique (CEC) a enregistré des variations hautement significatives ($p = 0,004$) entre les traitements et le T. Ils ont entraîné, des hausses de la CEC de 2,23 cmol kg⁻¹ (CP) ; 3,38 cmol kg⁻¹ (ZF-P) et 2,2 cmol kg⁻¹ par rapport au T. Entre 2007 et 2009, les variations ont été de -0,18 cmol kg⁻¹ dans le T et de 1,38 cmol kg⁻¹ à 2,56 cmol kg⁻¹ pour les parcelles traitées.

Le complexe absorbant est saturé de façon hautement significative ($p < 0,001$) dans les traitements comparé au T (2009). En effet, les traitements ont permis d'améliorer le taux de

saturation (S/T) de 18%, 28,5% et 26% respectivement par le CP, le ZF-P et ZF-HP par rapport au T. Par rapport à 2007 on remarque une diminution du S/T de 7% dans le T et des augmentations de 14% ; 23% et 20,5% respectivement dans le CP, le ZF-P et le ZF-HP.

Concernant le pH, l'analyse de variance montre qu'il y a une différence significative ($p = 0,014$) entre les traitements. L'aménagement du site a permis de relever le pH à 5,55 dans le CP ; 6,23 dans le ZF-P et 5,64 dans le ZF-HP alors qu'il est de 4,82 dans le T. En 2007, le pH était de 4,9 ; 4,9 et 4,8 pour respectivement le T, le CP et le ZF.

II. 1. 2. 2- Parcelles agroforestières

Les caractéristiques chimiques des parcelles agroforestières exprimées en fonction des traitements et comparées au T ont révélé des variations liées à l'effet de l'aménagement (**Tab. XIV**).

L'analyse de variance montre que les teneurs en MO (2009) sont très significativement différentes entre les traitements ($p = 0,003$). Des hausses significatives par rapport au T ont été enregistrées dans le ZA-P ($6,1 \text{ gkg}^{-1}$), dans le ZACP-P ($5,3 \text{ gkg}^{-1}$), dans le ZA-HP ($4,5 \text{ gkg}^{-1}$) et le CP ($4,6 \text{ gkg}^{-1}$). Les teneurs en MO dans les traitements ZACP-P, ZACP-HP et le T ont évolué négativement par rapport à 2007. La baisse est de $2,9 \text{ gkg}^{-1}$ dans le T ; $2,8 \text{ gkg}^{-1}$ dans le ZACP-P et $5,6 \text{ gkg}^{-1}$ dans le ZACP-HP. Cependant le ZA-P, le ZA-HP et le CP ont connu des hausses respectives de $3,1 \text{ gkg}^{-1}$; $1,5 \text{ gkg}^{-1}$ et 10 gkg^{-1} .

Pour ce qui concerne le N, l'analyse de variance montre une différence hautement significative ($p < 0,001$) entre les traitements en 2009. Le CP et le ZACP-P ont permis de relever la teneur en N de $0,2 \text{ gkg}^{-1}$ chacun. Comparativement à 2007, les teneurs du sol en N sont restées pratiquement inchangées dans le CP, ZACP-P, ZA-P et ZA-HP par contre dans le T et le ZACP-HP, elles ont baissé de $0,1$ et $0,3 \text{ gkg}^{-1}$.

Le rapport C/N est significativement différent ($p = 0,019$) entre le ZA-P et le CP. Cependant entre les traitements et le T aucune différence significative n'a été notée. Il n'y a pas eu aussi de changement notable entre 2007 et 2009 pour ce rapport.

En ce qui concerne le Pa, l'analyse de variance montre qu'il existe une différence hautement significative ($p = 0,003$) entre les proportions du sol en Pa des traitements et du T. En effet, le ZA-P et le ZACP-P ont permis de multiplier respectivement par 4 et par 3 fois la teneur du T en Pa. Tous les traitements et le T ont enregistré des hausses de leur Pa de 2007 à 2009. Ces hausses sont de $2,24 \text{ mgP kg}^{-1}$ pour le T et varient entre $1,67$ et $13,41 \text{ mgP kg}^{-1}$ dans les parcelles traitées.

Le Kd a aussi varié significativement ($p = 0,049$) entre les traitements et le T. Les améliorations sont de 5 mgK kg^{-1} ; $5,93 \text{ mgK kg}^{-1}$; $145,6 \text{ mgK kg}^{-1}$; 11 mgK kg^{-1} et $85,33 \text{ mgK kg}^{-1}$ pour respectivement le CP, le ZACP-HP, le ZACP-P, le ZA-HP et le ZA-P par rapport au T. Comparativement à 2007, le Kd s'est amélioré de $33,37 \text{ mgK kg}^{-1}$ dans le T et de $35,85$ à $175,5 \text{ mgK kg}^{-1}$ dans les traitements.

La capacité d'échange cationique (CEC) a enregistré des variations hautement significatives ($p < 0,001$) entre les traitements et le T. Ils ont permis des hausses de la CEC de $0,95 \text{ cmol kg}^{-1}$ (CP) ; $2,99 \text{ cmol kg}^{-1}$ (ZACP-P) ; $1,05 \text{ cmol kg}^{-1}$ (ZACP-HP) ; $5,2 \text{ cmol kg}^{-1}$ (ZA-P) par rapport au T. Entre 2007 et 2009, la variation a été de $0,37 \text{ cmol kg}^{-1}$ dans le T et de $0,02 \text{ cmol kg}^{-1}$ à $6,56 \text{ cmol kg}^{-1}$ pour les traitements.

L'analyse de variance révèle une différence hautement significative ($p < 0,001$) pour ce qui est de la somme des bases échangeables (BE) de l'année 2009. Comparé au T, le CP, le ZACP-P, ZA-P et le ZF-HP ont permis d'accroître les BE respectivement de $0,26 \text{ cmol kg}^{-1}$; $2,13 \text{ cmol kg}^{-1}$; $3,26 \text{ cmol kg}^{-1}$ et $0,53 \text{ cmol kg}^{-1}$. De 2007 à 2009, les BE ont augmenté de $0,78 \text{ cmol kg}^{-1}$ dans le T et de $0,79$ à $4,63 \text{ cmol kg}^{-1}$ dans les traitements.

La saturation du complexe absorbant varie très significativement ($p = 0,001$) dans les traitements comparé au T (2009). Le ZA-P et le ZACP-P ont permis d'améliorer le taux de saturation (S/T) de $8,67\%$ et 12% par rapport au T. Par rapport à 2007, on remarque un accroissement du S/T de $16,51\%$ dans le T et des augmentations allant de $8,9$ à $29,46\%$ dans les parcelles traitées.

Pour le pH, l'analyse de variance montre une différence hautement significative ($0,001$) entre les traitements. L'aménagement des parcelles a permis de relever le pH à $5,45$ dans le CP ; $6,58$ dans le ZACP-P ; $5,59$ dans le ZACP-HP ; $6,52$ dans le ZA-P ; $5,69$ dans le ZA-HP. Il est de $5,42$ dans le T. En 2007, le pH était de $4,31$; $4,82$; $4,79$ et $4,29$ pour respectivement le T, le CP, le ZACP et le ZA.

Tableau XIII : Evolution des différents paramètres chimiques dans les parcelles forestières entre 2007 et 2009

Traitements	MO (g kg^{-1})		N (g kg^{-1})		C/N		Pa (mg P kg^{-1})		Kd (mg K kg^{-1})		(S)BE cmol kg^{-1}		CEC(T) cmol kg^{-1}		S/T (%)		pHeau	
	2007	2009	2007	2009	2007	2009	2007	2009	2007	2009	2007	2009	2007	2009	2007	2009	2007	2009
T	16,3	15 ^c	0,78	0,68	12,25	12,5 ^c	0,88	3,105 ^c	19	49,9 ^b	1,47	1,64 ^d	2,66	2,48 ^c	55,5	48,5 ^d	4,9	4,82 ^c
CP	12,9	21,8 ^a	0,64	0,89	11,75	14 ^{ab}	1,17	4,705 ^b	24,39	54,1 ^b	1,345	2,3 ^c	2,565	4,71 ^b	52,5	66,5 ^c	4,9	5,55 ^b
ZF-P	ZF-HP	21,4 ^a	0,72	16,5 ^a	12,5	28,23 ^a	0,94	266,85 ^a	1,84	4,50 ^a	3,295	5,86 ^a	54	77 ^a	74,5 ^b	4,8	6,23 ^a	
ZF-HP		17,3 ^b		0,61		3,06 ^c		26,70	45,2 ^b	3,47 ^b		4,68 ^a		74,5 ^b		5,64 ^b		
Probabilité	0,134	0,047	0,058	0,286	0,098	0,040	0,605	0,007	0,057	0,049	0,214	0,001	0,281	0,004	0,585	0,000	0,142	0,014
Signification	NS	S	NS	NS	NS	S	NS	HS	NS	S	NS	HS	NS	HS	NS	HS	NS	S

MO = matière organique totale, N = teneur en azote totale, Pa = phosphore assimilable, Kd = potassium disponible, CEC = capacité d'échange cationique, BE = somme des bases échangeables.

CP = cordons pierreux, T = témoin, ZF-P = poquet du traitement zaï forestier, ZF-HP = espace inter poquet du traitement zaï forestier.

NS = non significatif, S = significatif, HS = hautement significatif

Dans la même colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

Tableau XIV: Evolution des différents paramètres chimiques dans les parcelles agroforestières entre 2007 et 2009

Traitements	MO (g kg^{-1})		N (g kg^{-1})		C/N		Pa (mg P kg^{-1})		Kd (mg K kg^{-1})		CEC (cmol kg^{-1})		BE (cmol kg^{-1})		S/T (%)		pHeau	
	2007	2009	2007	2009	2007	2009	2007	2009	2007	2009	2007	2009	2007	2009	2007	2009	2007	2009
CP	14,5	15,5 ^a	0,8	0,8 ^a	13	11,67 ^b	1,73	3,82 ^b	16,63	52,7 ^b	3,28	5,49 ^b	1,96	3,2 ^b	49,43	58,33 ^b	4,82	5,45 ^b
T	13,8	10,9 ^b	0,7	0,6 ^b	12	13,67 ^{ba}	1,84	4,08 ^b	14,33	47,7 ^b	4,17	4,54 ^{bc}	2,16	2,94 ^b	48,15	64,66 ^b	4,31	5,42 ^b
ZACP-HP	16,4	10,8 ^b	0,5 ^c	0,8 ^a	13	12,67 ^{ab}	1,89	3,56 ^b	17,8	53,63 ^b	3,22	3,24 ^c	2,48 ^b	51,84	64,34 ^b	4,79	5,59 ^b	
ZACP-P		16,2 ^a				12 ^{ab}		12,03 ^a		193,3 ^a		7,53 ^a	1,69	5,07 ^a	76,66 ^a		6,58 ^a	
ZA-HP	13,9	15,4 ^a	0,7 ^{ab}	0,7 ^{ab}	12	12 ^{ab}	1,69	3,52 ^b	13,70	58,7 ^b	3,16	5,59 ^b	1,57	3,48 ^b	62,32 ^b	4,29	5,69 ^b	
ZA-P		17 ^a				14 ^a		15,1 ^a		133,03 ^a		9,74 ^a	6,2 ^a	43,87	73,33 ^a		6,52 ^a	
Probabilité	0,375	0,003	0,119	0,000	0,128	0,019	0,914	0,003	0,351	0,049	0,221	0,000	0,197	0,000	0,133	0,001	0,141	0,000
Signification	NS	HS	NS	HS	NS	S	NS	HS	NS	S	NS	HS	NS	HS	NS	HS	NS	HS

MO = matière organique totale, N = teneur en azote totale, Pa = phosphore assimilable, Kd = potassium disponible, CEC = capacité d'échange cationique, BE = somme des bases échangeables.

CP = cordons pierreux, T = témoin, ZACP-HP = espace inter poquet du traitement zaï agricole + cordons pierreux, ZACP-P = poquet du traitement zaï agricole + cordons pierreux, ZA-HP = espace inter poquet du traitement zaï agricole, ZA-P = poquets du traitement zaï agricole.

NS = non significatif, S = significatif, HS = hautement significatif Dans la même colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

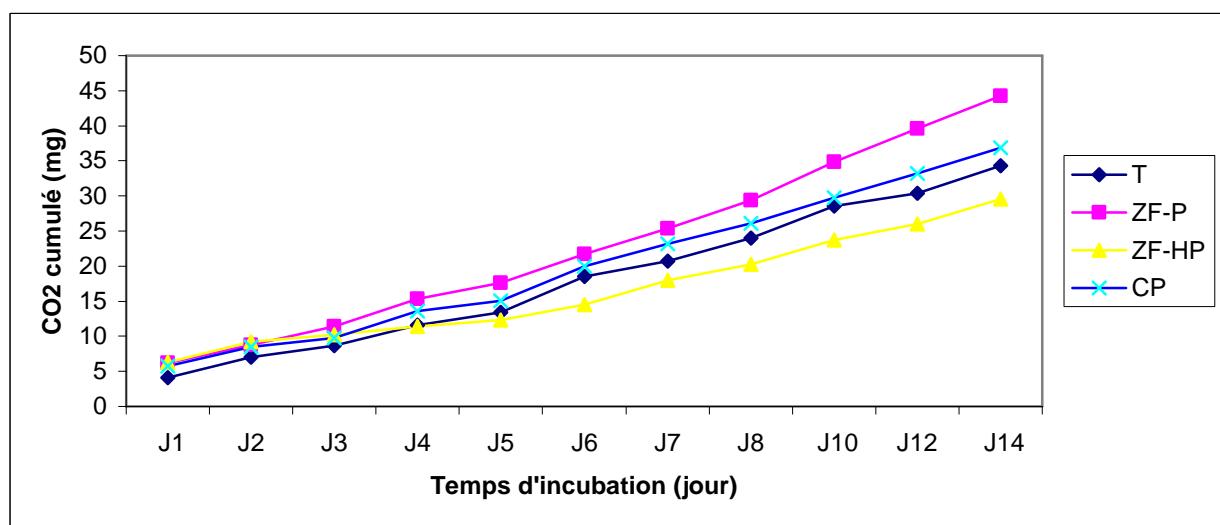
II. 1 3- Effet des traitements sur l'activité respiratoire et la biomasse microbienne du sol

II. 1 3. 1- Parcelles forestières

II. 1 3. 1. 1- Effet sur l'activité respiratoire

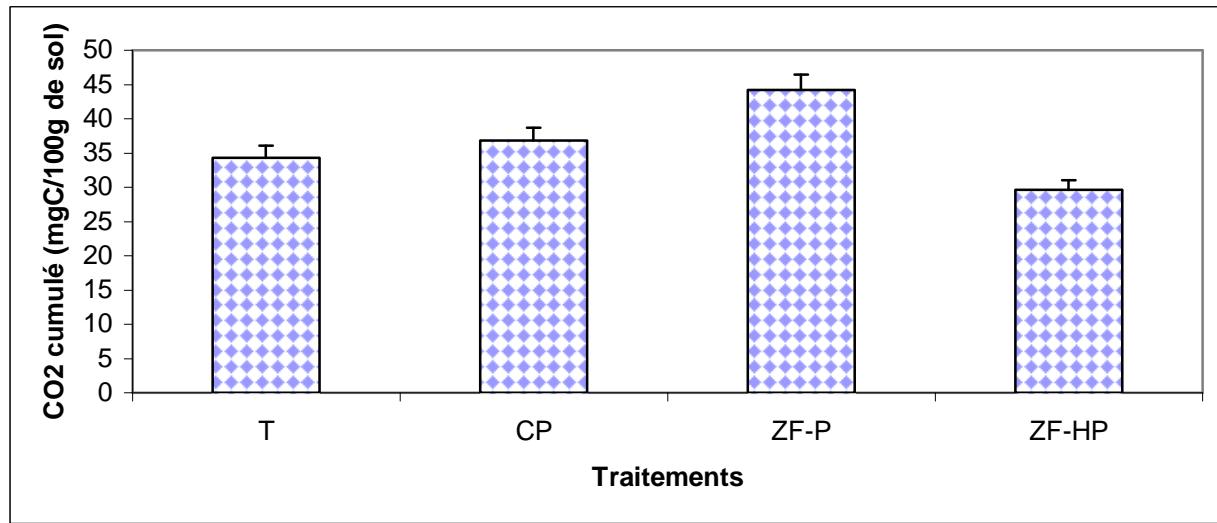
Les évolutions de CO₂ cumulé selon les traitements sont illustrées par la **figure 21**. La respiration de base (J1) observée dans les différents traitements est sensiblement similaire. Cependant elle diffère des traitements comparés au T (4,07 mg CO₂). A partir du 2^{ème} jour le ZF-P commence à dégager plus du CO₂ par rapport aux autres traitements et sa courbe se détache des autres. Le quatrième jour, c'est le ZF-HP qui enregistre les faibles quantités de CO₂ dégagé jusqu'à la fin de l'incubation.

Le ZF-P a induit un accroissement de l'activité respiratoire de 9,9 mg C et le CP de 2,53 mg C comparativement au T tandis que les espaces inter-poquets ont entraîné une réduction de 4,73 mg C du CO₂ produit (**Fig. 22**). La variation de l'activité respiratoire du ZF-P s'est avérée significativement différente d'une part des autres traitements et d'autre part du T ($p = 0,017$).



ZF-P = poquets du zaï forestier, ZF-HP= Espace inter-poquet du zaï forestier, CP = Cordon pierreux, T = Témoin

Figure 21: Evolution de la production cumulée de CO₂ dégagé en fonction des traitements et du temps

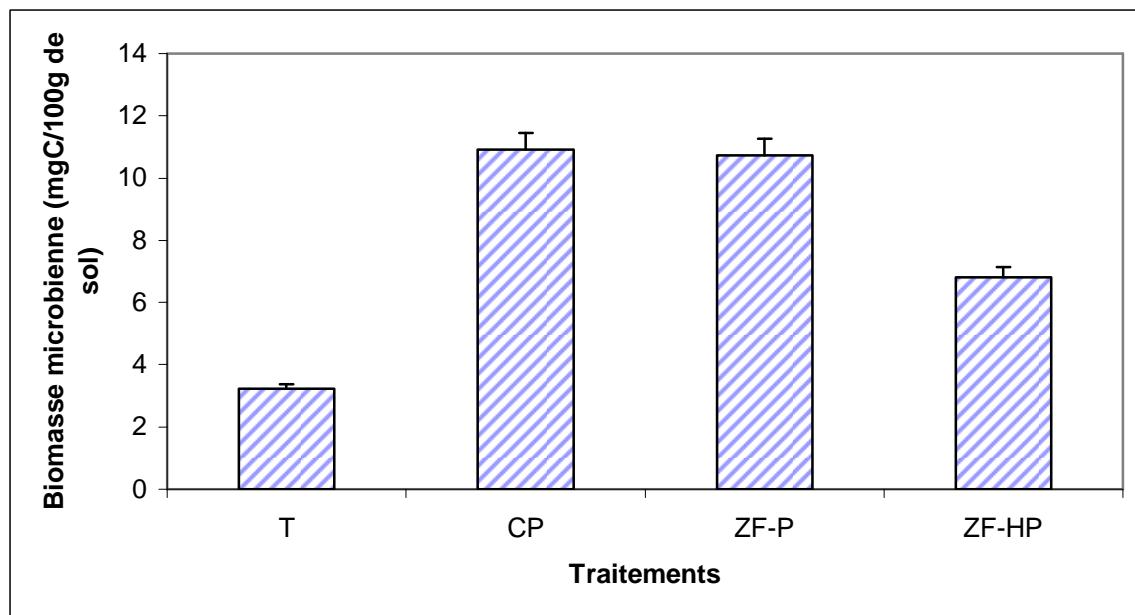


ZF-P = poquets du zaï forestier, ZF-HP= Espace inter-poquet du zaï forestier, CP = Cordon pierreux, T = Témoin

Figure 22 : Effet des traitements sur le dégagement cumulé de CO₂ (en mg C/100g de sol) après 14 jours d'incubation des sols.

II. 1. 3. 1. 2- Effet sur la biomasse microbienne

La plus grande quantité de biomasse microbienne est obtenue avec le CP (10,91 mg C) et la plus petite quantité avec le T (3,22 mg C). Le ZF-P et le CP ont induit une augmentation significative ($P = 0,005$) de la biomasse microbienne de 7,51 mg C et de 7,69 mg C (**Fig. 23**) soit des variations respectives de 233 et 239%.



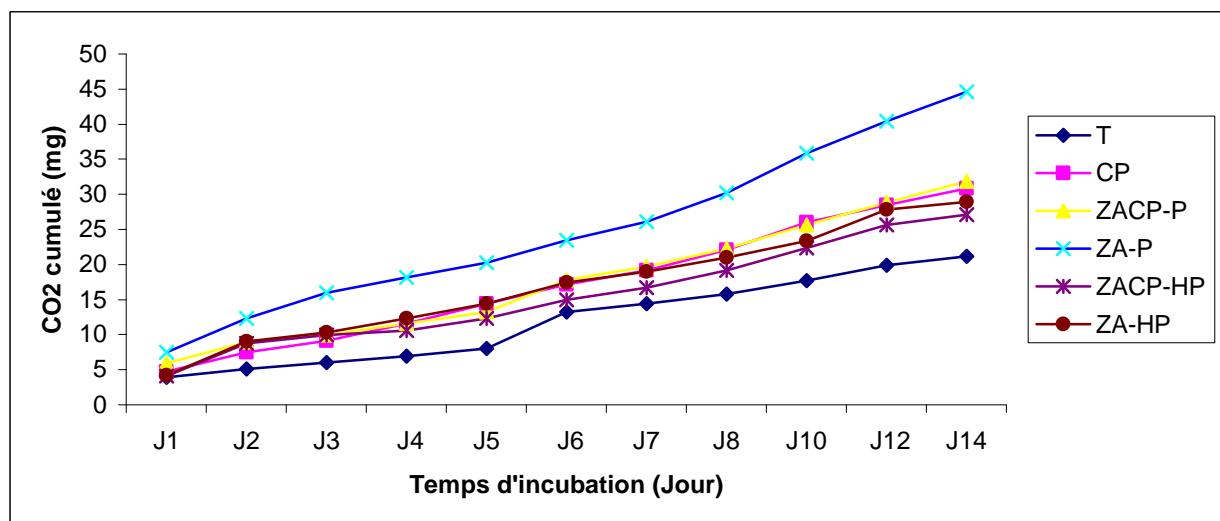
ZF-P = poquets du zaï forestier, Z-HP= Espace inter-poquet du zaï forestier, CP = Cordon pierreux, T = Témoin

Figure 23: Effet de l'application des traitements sur la biomasse microbienne des sols (en mg C/100g de sol).

II. 1. 3. 2- Parcelles agroforestières

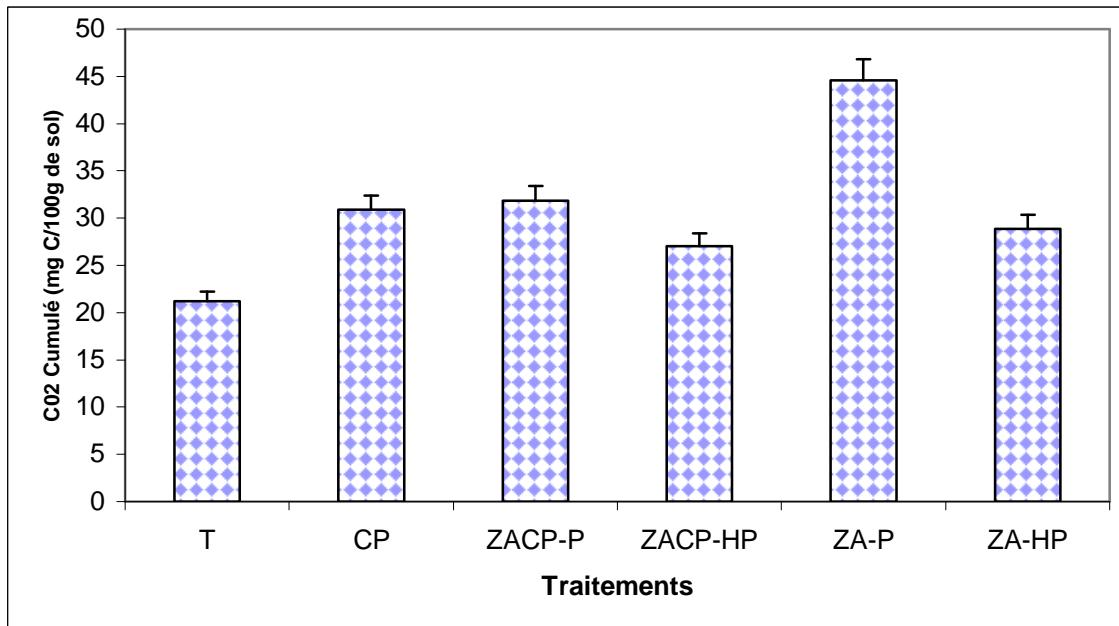
II. 1. 3. 2.1- Effet sur l'activité respiratoire

L'évolution de l'activité respiratoire au cours des 14 jours d'incubation est illustrée par la **figure 24**. On constate une évolution quasi différente d'un traitement à l'autre. Les poquets de zaï (ZA-P) fournissent les plus fortes valeurs et ce dès le premier jour d'incubation. Dans les traitements CP, ZACP-P, ZACP-HP, ZA-HP la quantité de CO₂ dégagée pendant la période d'incubation évolue similairement. Le T enregistre les faibles valeurs de CO₂ et se détache du reste. Pour toute la durée de l'incubation, les quantités cumulées de CO₂ (**Fig. 25**) varient d'une part d'un traitement à l'autre et d'autre part des différents traitements au T. Statistiquement le ZA-P a une activité respiratoire significativement différente ($P<0,001$) des autres traitements et du T. Il a produit 2 fois la quantité de CO₂ du T. Les traitements CP, ZACP-P, ZACP-HP et ZA-HP ont une activité respiratoire négativement différente ($P<0,05$) du ZA-P et positivement différente du T.



CP = cordons pierreux, T = témoin, ZACP-HP = espace inter poquet du traitement zaï agricole + cordons pierreux, ZACP-P = poquet du traitement zaï agricole + cordons pierreux, ZA-HP = espace inter poquet du traitement zaï agricole, ZA-P = poquets du traitement zaï agricole.

Figure 24: Production cumulée de CO₂ dégagé en fonction des traitements et du temps d'incubation

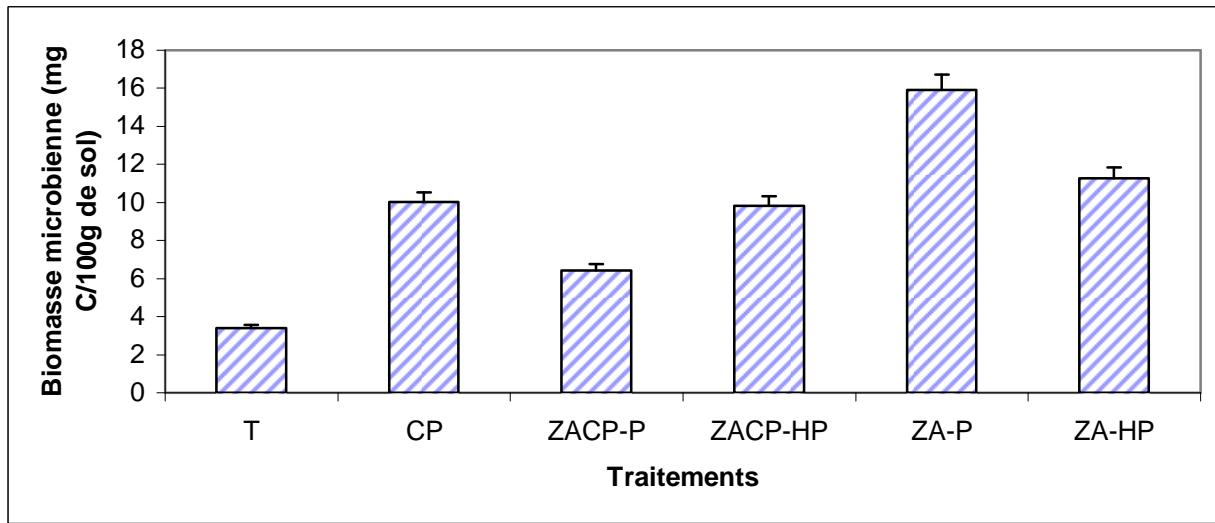


CP = cordons pierreux, T = témoin, ZACP-HP = espace inter poquet du traitement zaï agricole + cordons pierreux, ZACP-P = poquet du traitement zaï agricole + cordons pierreux, ZA-HP = espace inter poquet du traitement zaï agricole, ZA-P = poquets du traitement zaï agricole.

Figure 25: Effet des traitements sur le dégagement cumulé de CO₂ (en mg C/100g de sol) après 14 jours d'incubation des sols.

II. 1. 3. 2.2- Effet sur la biomasse microbienne

La plus grande de biomasse microbienne (15,92 mg C) a été observée dans les poquets de zaï du traitement ZA-P (**Fig 26**). La biomasse microbienne y a été améliorée de 12,52 mgC soit une multiplication par 4,7 fois par rapport au T (3,4 mgC). Cette amélioration est hautement significative comparée aux autres traitements ($P = 0,003$). Le CP, le ZACP-HP et le Z-HP ont entraîné également un accroissement significatif de la biomasse microbienne par rapport au T. Toutefois ils sont statistiquement similaires au ZACP-P ($P>0,05$).



CP = cordons pierreux, T = témoin, ZACP-HP = espace inter poquet du traitement zaï agricole + cordons pierreux, ZACP-P = poquet du traitement zaï agricole + cordons pierreux, ZA-HP = espace inter poquet du traitement zaï agricole, ZA-P = poquets du traitement zaï agricole.

Figure 26: Effet des traitements sur la biomasse microbienne des sols (en mg C/100g de sol).

II. 1.4- Propriétés hydrodynamiques

II. 1. 4 1- Potentiel capillaire

II. 1. 4 1.1- Parcelles forestières

Les résultats des potentiels capillaires des traitements dans le dispositif forestier sont présentés dans le **tableau XV**. Les teneurs en eau du sol à la capacité au champ (pF 2,5) sont plus élevées dans les ZF-P (18,81%) et dans les ZF-HP (16,80%) comparées au T (16,34%) et au CP (16,02%). A l'inverse, les teneurs en eau du sol au point de flétrissement (pF 4,2) sont plus faibles dans le ZF-P (6,43%), dans le CP (6,34%) et dans le ZF-HP (6,8%) que dans le T qui a une valeur de 8,22%. La réserve en eau utilisable du sol (RU) qui en résulte varie également en fonction des traitements. Le ZF-P a permis de l'augmenter significativement ($P= 0,011$) de 4,27% par rapport au T et de 2,7% ($P=0,046$) par rapport au CP.

Tableau XV: Potentiel capillaire et réserve utile dans le dispositif forestier

Traitements	pF 2,5	pF 3	pF 4,2	RU
T	16,34	11,73	8,22	8,12 ^b
CP	16,02	10,86	6,34	9,69 ^b
ZF-P	18,81	11,61	6,43	12,39 ^a
ZF-HP	16,80	11,9	6,8	10 ^{ab}
Probabilité	0,083	0,589	0,271	0,045
Signification	NS	NS	NS	S

NS = non significatif, S = significatif. Dans la même colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% avec le test de Fisher.

ZF-P = poquets du zaï forestier, Z-HP= Espace inter-poquet du zaï forestier, CP = Cordon pierreux, T = Témoin

II. 1. 4 1.2- Parcelles agroforestières

Dans le dispositif agroforestier la teneur en eau à la capacité au champ s'est améliorée comme suit : CP 0,82% ; ZA-P 6,02% ; ZA-HP 4,99% ; ZACP-P 4,71% et ZACP-HP 6,96% comparativement au T 18,02% (Tab. XVI). Les valeurs de pF 3,0 et pF 4,2 ont été sensiblement égales dans les différents traitements. La réserve utile quant à elle a varié respectivement de 0,91% ; 4,9% ; 5,19%; 4,91% et 7,15% dans le CP, ZA-P, ZA-HP, ZACP-P et ZACP-HP comparativement au T. Cependant l'analyse de variance ne montre aucune différence significative entre les traitements et le T au seuil de 5% (**Tab. XVI**).

Tableau XVI: Potentiel capillaire et réserve utile dans le dispositif agroforestier

Traitements	pF 2,5	pF 3,0	pF 4,2	RU
T	18,02	12,85	8,20	9,82
CP	18,84	13,23	8,11	10,73
ZA-P	24,04	14,48	9,32	14,72
ZA-HP	23,01	12,02	8,00	15,01
ZACP-P	22,73	12,10	8,00	14,73
ZACP-HP	24,98	14,05	8,01	16,97
Probabilité	0,184	0,455	0,229	0,156
Signification	NS	NS	NS	NS

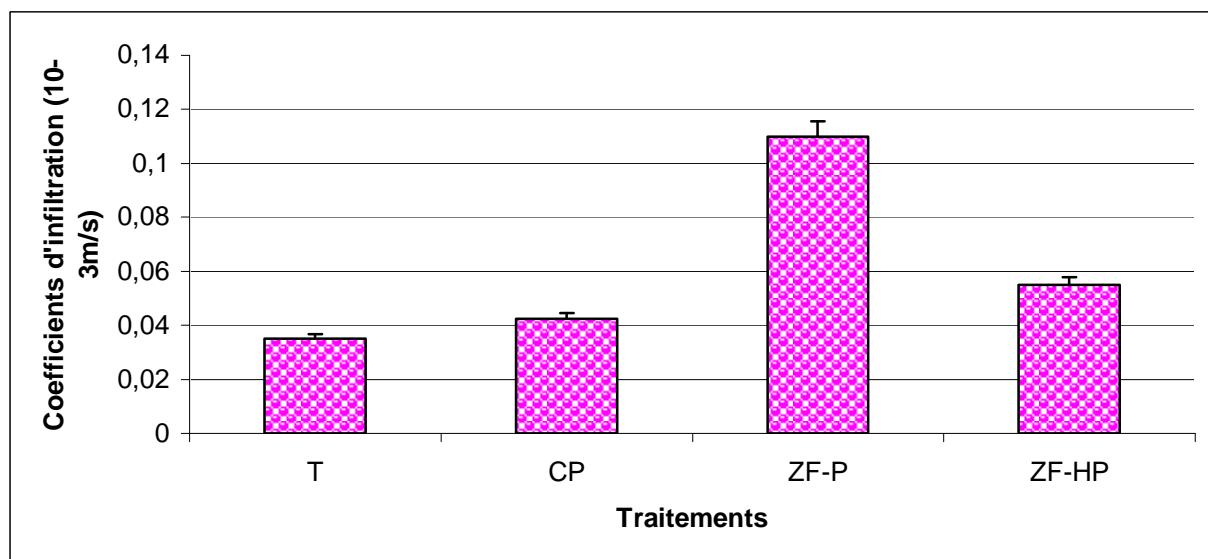
NS = non significatif

CP = cordons pierreux, T = témoin, ZACP-HP = espace inter poquet du traitement zaï agricole + cordons pierreux, ZACP-P = poquet du traitement zaï agricole + cordons pierreux, ZA-HP = espace inter poquet du traitement zaï agricole, ZA-P = poquets du traitement zaï agricole.

II. 1.4.2- Coefficient d'infiltration

II. 1.4.2.1- Parcelles forestières

L'impact des traitements sur l'évolution du coefficient d'infiltration dans le dispositif forestier est illustré par la **figure 27**. L'analyse de variance montre une différence significative entre les coefficients d'infiltration des traitements ($P < 0,001$). Le test de Fisher (LSD) montre que le coefficient d'infiltration du ZF-P est hautement significatif comparativement au T, au CP et au ZF-HP ($P < 0,001$). Le coefficient d'infiltration du ZF-P ($0,11 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$) vaut respectivement 3 ; 2,5 et 2 fois celui du T ($0,035 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$), du CP ($0,043 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$) et du ZF-HP ($0,055 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$).

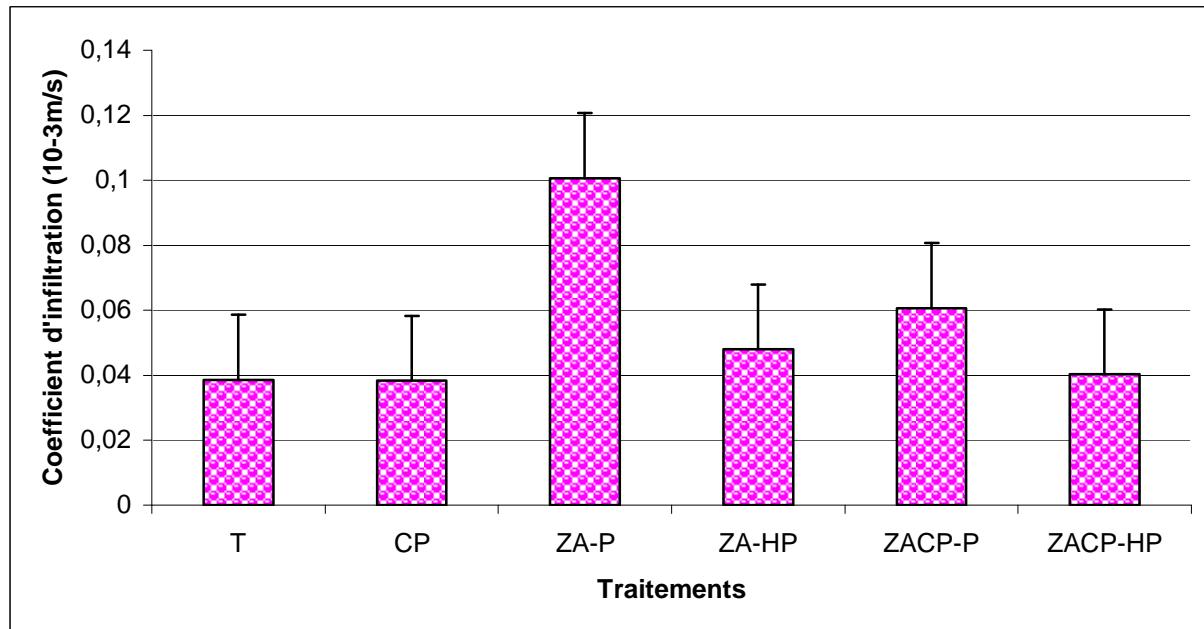


ZF-P = poquets du zaï forestier, Z-HP= Espace inter-poquet du zaï forestier, CP = Cordon pierreux, T = Témoin

Figure 27: Evolution du coefficient d'infiltration en fonction des traitements

II. 1.4.2.2- Parcelles agroforestières

L'évolution du coefficient d'infiltration est représentée par la **figure 28**. On remarque que les traitements ont impacté le coefficient d'infiltration de l'eau dans le sol. Les plus grandes valeurs ont été obtenues avec respectivement le ZA-P ($0,1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$) et le ZACP-P ($0,06 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$). Le ZA-HP et le ZACP-HP conservent néanmoins des coefficients d'infiltration plus élevés que le T et le CP. Par rapport au T, le ZA-P et le ZACP-P ont permis une hausse de l'infiltration de 156,41% ($0,061 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$) et de 53,85% ($0,021 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$). L'analyse de variance montre que le ZA-P a permis une amélioration significative de la perméabilité du sol par rapport au T ($p = 0,036$), CP ($p = 0,036$) et au ZACP-HP ($p = 0,041$).



CP = cordons pierreux, T = témoin, ZACP-HP = espace inter poquet du traitement zaï agricole + cordons pierreux, ZACP-P = poquet du traitement zaï agricole + cordons pierreux, ZA-HP = espace inter poquet du traitement zaï agricole, ZA-P = poquets du traitement zaï agricole.

Figure 28 : Evolution du coefficient d'infiltration en fonction des traitements

II. 2- Discussion

Les teneurs du sol en sables (fins et grossiers) sont en général plus élevées que les autres fractions granulométriques. Elles varient entre 550 et 620 gkg^{-1} sur les parcelles forestières et entre 420 et 540 gkg^{-1} dans les parcelles agroforestières. Pallo (2009) qui avait travaillé dans la zone faisait le même constat et disait que ceci était dû probablement d'une part à la nature du substratum géologique, plus favorable à la production de cette fraction qu'à la formation des argiles et, d'autre part, à la pluviosité élevée qui favorise le lessivage des argiles. Néanmoins le ZF-P, le ZACP-P, le ZA-P et le CP dans le dispositif agroforestier ont permis de réduire significativement les teneurs en sables grossiers et d'améliorer significativement les teneurs du sol en argiles et en limons par rapport au T. Ces traitements ont donc contribué à réduire la vitesse de l'eau de ruissellement et partant l'érosion hydrique ; ce qui permet la rétention et l'accumulation des éléments fins.

Les traitements CP, ZF-P, ZA-P et ZACP-P ont entraîné l'augmentation de la MO du sol par rapport au T. La teneur de celle-ci varie entre $17,3\text{ gkg}^{-1}$ et $21,8\text{ gkg}^{-1}$ dans le dispositif forestier et $15,5\text{ gkg}^{-1}$ à 17 gkg^{-1} dans le dispositif agroforestier pour les parcelles aménagées. Selon Zougmoré et al. (2000), la sédimentation des particules solides contenues dans l'eau de ruissellement explique dans une large mesure cette augmentation. Pour les traitements ZA-P,

ZF-P et ZACP-P, la teneur en MO serait liée aussi à l'apport du fumier dans les poquets (Roose, 1989). En outre, les travaux de Bacyé et *al.* (1998) montrent que l'apport de la poudrette de fumier permet un accroissement des teneurs en carbone et en azote par rapport au T. La teneur en N a varié dans le même sens que la MO. L'augmentation de la MO entraîne aussi celle de N puisque la MO constitue le stock de l'azote (Nacro, 1997). D'où les valeurs plus élevées de N, par rapport au T, au niveau de CP, ZA-P, ZF-P et ZACP-P. La MO favorise la formation du complexe absorbant, capable de fixer des cations du sol. Ce qui permettrait d'augmenter significativement la CEC dans les mêmes traitements. L'apport du fumier a permis l'augmentation de Pa, de Kd et des BE dans les poquets du zaï. Le même constat a été fait par Pallo et *al.* (2008), Ouattara et *al.* (1994). Selon Lozet et Mathieu (1997) le fumier est un amendement organique constitué d'un mélange de litières et d'excréments d'animaux ayant subi des fermentations plus ou moins poussées. Le fumier joue un grand rôle dans les propriétés physique et chimique du sol. Ainsi, Lombo (2005) et Ouedraogo, (2004) indiquent que la matière organique accroît la capacité d'échange cationique et donc la quantité et la disponibilité des éléments minéraux dans le sol. L'efficacité des fumures organiques serait due à leur capacité à limiter la baisse du taux de matière organique du sol, à entretenir la capacité d'échange cationique et à limiter le taux d'aluminium échangeable (Diallo, 2002). Le ZA-P, le ZACP-P, le ZF-P et le CP dans le dispositif forestier, ont entraîné un relèvement du pH par rapport au T. Cette élévation du pH varie en fonction de la somme des BE qui est la fraction des ions utiles pour la plante (Ouatara et *al.*, 1998). Le ZF-P, le ZA-P et le ZACP-P ont permis d'améliorer les propriétés chimiques du sol, surtout dans les poquets. Pour les espaces inter poquets, cette amélioration résulterait de la décomposition des végétaux (herbes, résidu de récolte) et de l'effet résiduel de la fumure organique appliquée pendant la campagne précédente (Fosu et *al.*, 2003). De manière générale, les teneurs du sol en MO entre 2007 et 2009 ont baissé dans le dispositif agroforestier mais par contre, se sont améliorées dans celui forestier. Ceci s'explique pour le fait que la mise en culture des sols entraîne une chute de leurs teneurs en MO. En effet, le travail du sol accélère l'activité biologique et par conséquent une minéralisation plus rapide de la MO. Dans ces conditions, la MO évaluée est le résultat du bilan entre les apports et les sorties.

Le ZF-P a induit un accroissement significatif de l'activité respiratoire de 9,9 mg C et le CP de 2,53 mg C et une augmentation de la biomasse microbienne de 233 et 239% comparativement au T. Le ZA-P a eu une quantité de CO₂ 2 fois plus grande à celle du T et

une quantité de biomasse microbienne plus élevée de 4,7 fois celle du T. L'importance de la fumure organique s'aperçoit à travers ces résultats. Les poquets de zaï, en plus du fait qu'ils soient des pièges pour les substances organiques et l'eau ruisselée, sont le siège d'une intense activité microbienne. Zombré avait fait le même constat en 2006 avec le compost. L'activité biologique est un bon indicateur de la fertilité d'un sol, puisqu'elle permet de suivre la dynamique des processus de décomposition et de transformation de la matière organique. Selon Chaussod (1996) et Zombré (2006), les grandes composantes de la biologie des sols sont sous la dépendance des facteurs pédoclimatiques (type de sol et climat) et des facteurs agronomiques. Il existe, bien entendu, des interactions entre ces facteurs. La matière organique constitue une source d'énergie pour la microflore tellurique (Chaussod *et al.*, 1992 ; Sedogo, 1993 ; Zombré, 2006 ; Coulibaly, 2008). Par conséquent, toute influence sur le statut organique du sol a des répercussions sur la microflore du sol et ses activités.

L'eau qui tombe lors d'une pluie n'est utile à la plante que lorsqu'elle est disponible dans la rhizosphère. Cependant l'étude des états de surface avait révélé que seulement 40,7% des surfaces du site étaient favorables à l'infiltration (Yaméogo *et al.*, 2009). Après trois années d'aménagement, les résultats montrent que le ZF-P a permis d'augmenter significativement la RU de 4,27% ; 4,9% ; 5,19% ; 4,91% et 7,15% respectivement par rapport au T, au ZA-P, au ZA-HP, au ZACP-P et au ZACP-HP. Le ZF-P et le CP ont amélioré le coefficient d'infiltration de 3 et 2,5 fois comparativement au T. Le ZA-P et le ZACP-P l'ont augmenté respectivement de 2,6 et de 1,6 fois par rapport au T. Sans nul doute le zaï permet de lever les contraintes liées à l'infiltration de l'eau dans le sol. La technique du zaï permettrait donc l'amélioration de la porosité du sol. Pour Baize et Jabiol (1995) et Somé (1996) la porosité d'un horizon est une notion essentielle pour tout ce qui concerne la réserve en eau, la circulation des fluides (eau et air) et les possibilités d'enracinement. El Garouani *et al.* 2005 ont prouvé que le coefficient d'infiltration était fortement corrélé à certaines caractéristiques physiques du sol telles que la teneur en sable, la porosité, la densité apparente et les états de surface. Pour Lombo (2005), le fumier améliore la structure du sol et la rétention de l'eau, permettant ainsi de réduire l'impact néfaste des périodes sèches sur les cultures.

Conclusion partielle

Il ressort des résultats obtenus, que le ZF-P, le ZACP-P, le ZA-P et le CP dans le dispositif agroforestier ont permis d'améliorer significativement les teneurs du sol en limons. Les traitements CP, ZF-P, ZA-P et ZACP-P ont entraîné également l'amélioration de la teneur du sol en MO et partant celles des autres paramètres tels que le N, la CEC, les BE, le Pa, le Kd, le S/T et le pH. L'activité biologique qui est un bon indicateur de la fertilité du sol, a aussi été améliorée significativement par ZACP-P, ZF-P et CP. Une hypothèse a été évoquée pour expliquer ces résultats ; l'apport du fumier et le travail du sol en seraient responsables. Cette même hypothèse expliquerait le fait que le zaï ait permis d'améliorer la RU et le coefficient d'infiltration du sol.

CHAPITRE 2 : IMPACT DES DISPOSITIFS CES/DRS SUR LA CROISSANCE, LE DEVELOPPEMENT ET LE RENDEMENT DU SORGHO

Le rendement des céréales s'est élaboré tout au long du cycle de développement des plants, à partir des composantes que sont : le nombre de plants et le nombre d'épis par unité de surface, le nombre de grains par épi et le poids d'un grain.

I- Matériel et méthode

L'impact des CES/DRS sur la croissance, le développement et le rendement du sorgho a été évalué sur une période de 3 ans dans le dispositif agroforestier (**fig. 18**). Pour tester l'efficacité des traitements (ZA, ZACP, CP), la variété de sorgho, Sariasso 01 a été utilisée. C'est une variété de type racial Guinea. La durée du cycle semi-maturité est de 120 jours et 90 jours pour la période semi 50% floraison. Elle est résistante à la sécheresse et à la verse (**Annexe 8**). Les semis ont été réalisés à la densité de 0,80 m entre les lignes et 0,40 m entre les poquets.

I.1- Suivi des stades de développement

Dispositif expérimental

Pour suivre le stade de développement des plants, des carrés de rendement de 1 m² chacun ont été mis en place. Nous en avons placés 5 dans les parcelles de ZA et celles témoins selon les diagonales de ces parcelles, et 8 dans les parcelles CP et ZACP. Dans ces dernières parcelles, les carrés de rendement sont alignés perpendiculairement aux lignes de cordons pierreux, en raison de 4 en amont et 4 en aval des CP (**Fig. 29 et 30**). Les dispositions en diagonale, en ligne parallèle et en zigzag des carrés de rendement, sont les plus recommandées pour prendre en compte l'hétérogénéité d'une parcelle (T.T.A., 2004). Ce suivi a seulement été réalisé pendant la campagne 2009.

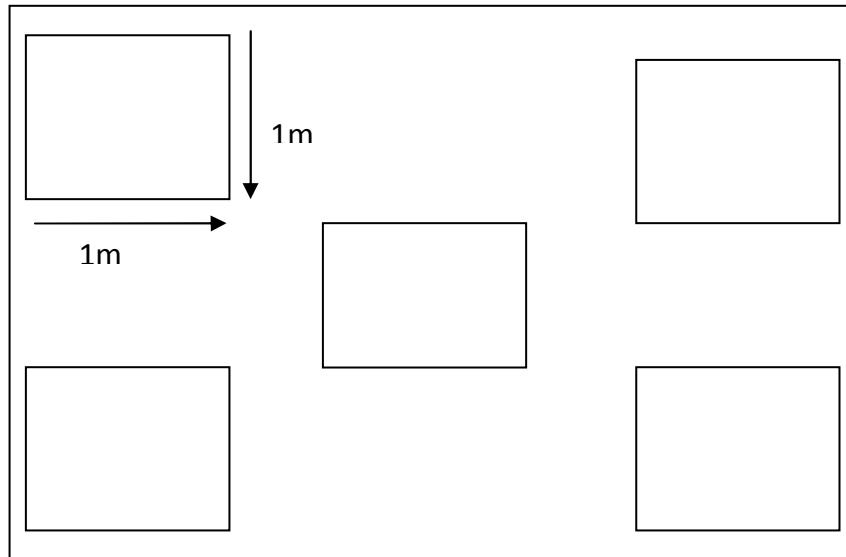


Figure 29 : Distribution des carrés de rendement dans les parcelles zaï et témoins

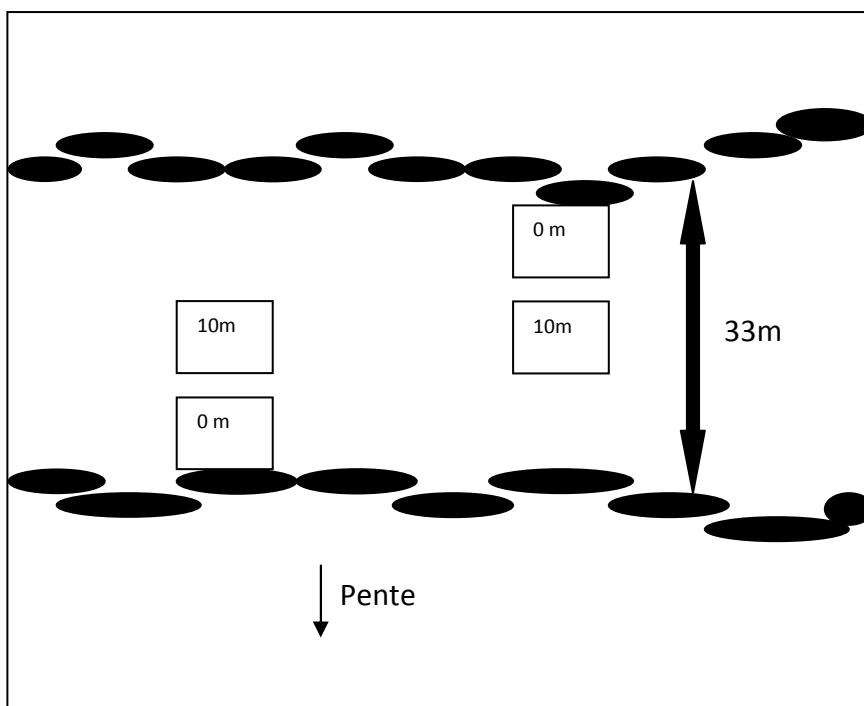


Figure 30 : Distribution des carrés de rendement dans les parcelles de cordons pierreux

I.1.1- Comptage du nombre de poquets présentant des plants levés

Après les semis, nous avons compté le nombre de poquets présentant au moins un plant de sorgho. Ensuite nous avons calculé la moyenne par traitement et extrapolé cette moyenne par traitement à l'hectare. Nous avons 6 poquets par carré de rendement correspondant à la densité de $0,8 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}$. Quatre semaines après semis, le démarlage a été effectué pour laisser 3 plants par poquet.

I.1.2- Mesure de hauteur et comptage de feuilles des plants

La croissance des plants se manifeste par l'augmentation de ses dimensions. Pour évaluer la croissance, nous avons mesuré une fois par semaine la hauteur des plants à l'intérieur des carrés de rendements et pour apprécier le développement des plants, le nombre de leurs feuilles a été également compté. Ces techniques ont été déjà utilisées par d'autres auteurs (Baggian, 2006 ; Prasad et al., 2008).

I.1.3- Suivi de l'évolution de l'épiaison par traitement

L'évolution du nombre d'épis par semaine a également été suivie dès l'émergence du premier épi. Les épis qui ont émergés des gaines foliaires sont comptés sans tenir compte de leur taille, ni de leur capacité à donner des grains. Leur moyenne par traitement et par semaine a été calculée.

I.2- Evaluation des composantes du rendement

Les composantes du rendement sont des paramètres de la culture et/ou de la plante permettant la détermination du rendement de cette culture. Ce sont dans le cas des céréales : le nombre de plants/hectare (NP/ha) ; le nombre d'épis à l'hectare (NE/ha) ; le nombre de grains par épi (NG/épi) et le poids d'un grain (PG).

I.2.1- Comptage du nombre de plants et d'épis à l'hectare (ha)

A la récolte, nous avons compté le nombre total de pieds de sorgho restant à l'intérieur des carrés de rendement, le nombre total d'épis et le nombre d'épis utiles. En effet, certains plants sont morts sans avoir bouclé leur cycle. L'épi utile est l'épi qui porte des grains. Les moyennes de ces paramètres ont été ensuite calculées par traitement et extrapolées à l'hectare.

I.2.2- Evaluation du nombre de grains par épi et le poids des grains

Les épis des carrés de rendements sont récoltés à maturité. Chaque épi récolté est mis dans un sachet et étiqueté. L'étiquette précise le traitement, le numéro de la parcelle et le numéro du carré de rendements. Après égrainage, les grains de chaque épi sont comptés. Après le comptage, les grains obtenus par épi sont mélangés par parcelle. Mille (1000) grains par

parcelle ont été prélevés au hasard, séchés à l'étuve à 105°C et pesés à l'aide d'une balance sensible à 0,001 près.

I.3- Estimation des rendements

Les productions des C.R. en grains sont séchées et pesées. Ensuite, la moyenne par parcelle est calculée. La paille correspond à la biomasse épigée et susceptible d'être consommée par les animaux. Elle est constituée par l'ensemble des parties aériennes des plants sans les grains c'est à dire les tiges, les feuilles et les restes des épis après égrainage. Les pailles des sous parcelles ont été regroupées et séchées à l'ombre. Tous les deux jours, elles ont été pesées jusqu'à ce que leurs poids soient constants. Le séchage a duré deux semaines. Les poids obtenus lors de la dernière pesée ont été utilisés pour calculer les rendements en paille des différentes parcelles.

I.4-Evaluation des coûts de production du sorgho

Les coûts de production du sorgho sur les parcelles ont été évalués en tenant compte des charges d'aménagement et d'exploitation. Le revenu total a été calculé sur la base de la production moyenne des trois années d'expérimentation (2008 ; 2009 ; 2010). La durée d'amortissement de l'aménagement en CP a été estimée à 20 ans (PSB, 2003) et celle du ZA à 1 an. Les poquets de zaï ont été réalisés à la pioche. Cela permet de réduire le temps de travail comparativement à l'utilisation de la daba. Les coûts des différentes opérations culturales ont été estimés grâce aux mesures des temps de travaux. La paille, utilisée pour l'alimentation du bétail a été évaluée à 15 F CFA/kg et le grain à 140 F CFA/kg selon les résultats de nos enquêtes dans les villages riverains à la forêt. Le ratio bénéfice/coût (B/C) a été calculé pour les traitements ZA, ZACP et CP en prenant comme référence la parcelle témoin. Ce ratio est le bénéfice additionnel rapporté au coût additionnel du traitement. Le bénéfice additionnel est déterminé par rapport au bénéfice du T. Le coût additionnel est le coût supplémentaire lié à l'usage du ZA, du ZACP et du CP par rapport au T. Le chiffre obtenu indique ce que le franc supplémentaire investi rapporte au producteur en termes de bénéfice.

I.5- Analyse statistique des données

Le tableur EXCEL et le logiciel XLSTAT-Pro version 7.5 ont été utilisés respectivement pour la compilation et le traitement des données. La séparation des moyennes a été effectuée par le test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5%. Le test de Spearman (1904), a été utilisé pour

l'étude de corrélation des rangs entre certains paramètres pris deux à deux et les résultats significatifs ($P < 5\%$) ont été illustrés dans le présent document.

II- Résultats et discussions

II.1- Résultats

II.1.1- Suivi des stades phénologiques

II.1.1.1- Nombre de poquets présentant des plants levés

Le **tableau XVII** présente le nombre de poquets ayant enregistré des plants levés par hectare selon les traitements. Durant les trois ans d'expérimentation, le nombre de poquets levés n'a pas présenté de différence significative entre les différents traitements. Le taux de poquets levés a fluctué entre 95,64% et 99,55% dans le ZA ; entre 93% et 95,15% dans le ZACP ; entre 85,73% et 92,36% dans le CP et entre 86,67% et 89,68% dans le T.

Tableau XVII : Etat de levée du sorgho

Traitements	Nombre poquets levés/ha		
	2008	2009	2010
ZA	29889 (95,64%)	30556 (97,78%)	31105 (99,55%)
ZACP	29064 (93%)	29731 (95,14%)	29734 (95,15%)
CP	26792 (85,73%)	28863 (92,36%)	28125 (90%)
T	27863 (89,16%)	27083 (86,67%)	28024 (89,68%)
Probabilités	0,204	0,193	0,443
Signification	NS	NS	NS

CP : cordons pierreux, T : témoin, ZA : zaï agricole, ZACP : zaï agricole +cordons pierreux, NS : non significatif au seuil de 5% selon le test de Newman Keuls.

II.1.1.2- Hauteur des plants

Les plants sont restés chétifs dans les traitements CP et T (**Photo 3**), beaucoup sont morts sans boucler leur cycle de développement. Par contre dans les traitements ZA et ZACP, les plants ont bouclé leur cycle (**Fig. 31**). De la 5^{ème} semaine après semis (SAS) jusqu'à la 15^{ème} SAS trois phases distinctes se différencient dans le cycle de développement du sorgho à des vitesses différentes dans les traitements :

-la 1^{ère} phase va de la 5^{ème} SAS à la 10^{ème} SAS pendant laquelle, les plantes ont une croissance lente. Au cours de cette phase, la vitesse moyenne de croissance en hauteur est de 0,69 cm/jour ; 0,59 cm/jour ; 1,51 cm/jour et de 1,67 cm/jour respectivement pour les plants des traitements T, CP, Z et ZCP.

-la 2^{ème} phase va de la 10^{ème} SAS à la 14^{ème} SAS. Pendant cette phase, la croissance des plantes est accélérée. Pour cette 2^{ème} phase, les plants ont une vitesse de croissance de 2,27 cm/jour ; 1.65 cm/jour ; 3,74 cm/jour ; 3,36 cm/jour respectivement sur les parcelles T, CP, ZA et ZACP. Cette croissance accélérée se traduit par un développement végétatif intense et une élongation maximale. Cette phase se termine avec la floraison. Les plants à la fin de ce stade atteignent leur hauteur maximale.

-la troisième phase commence à partir de la 14^{ème} SAS jusqu'à la récolte. Durant cette phase, les plantes ne croissent plus et ont tendance à se courber sous le poids des grains qui se remplissent.

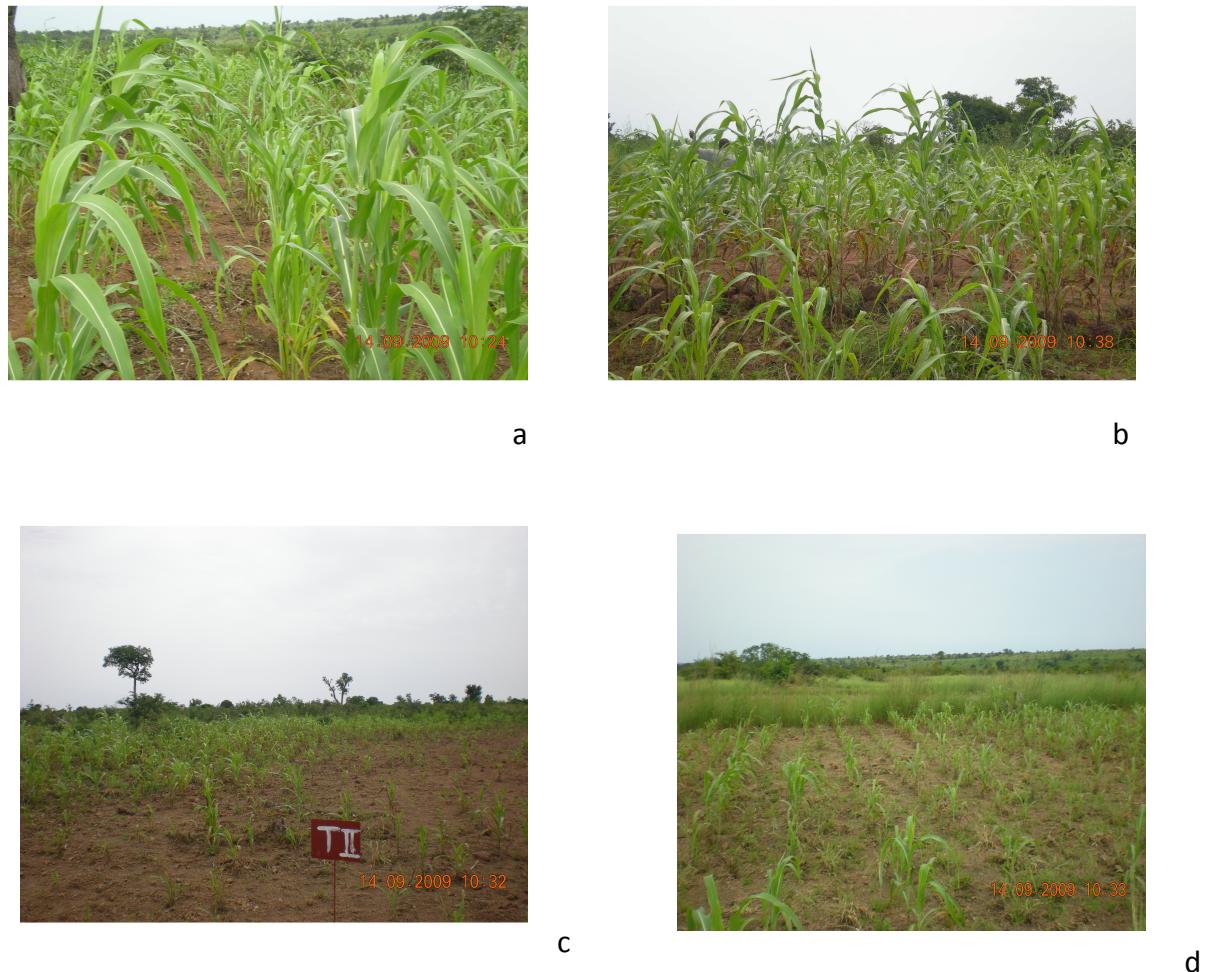
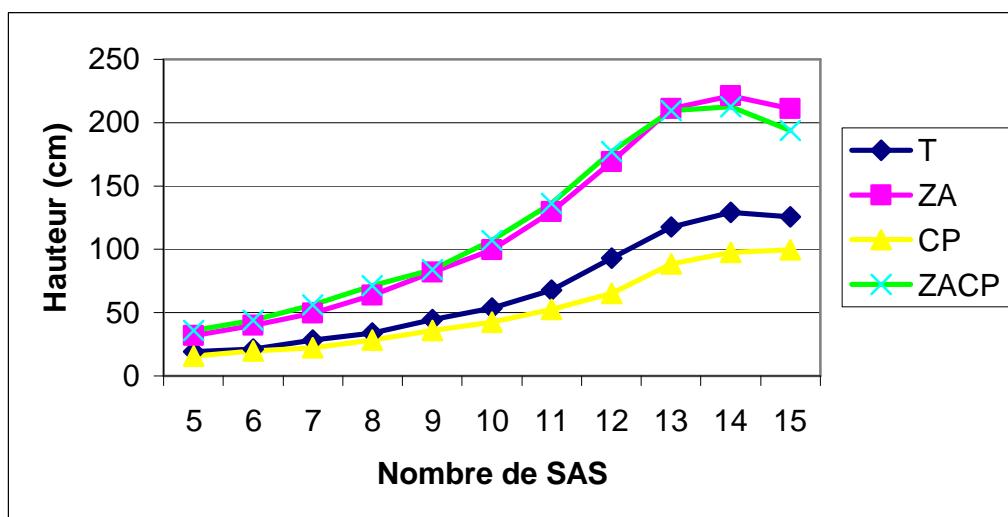


Photo 3 : Etat de développement du sorgho à la même date dans les différents traitements :
 (a) zaï agricole, (b) association zaï agricole-cordons pierreux, (c) Témoin, (d) cordons pierreux

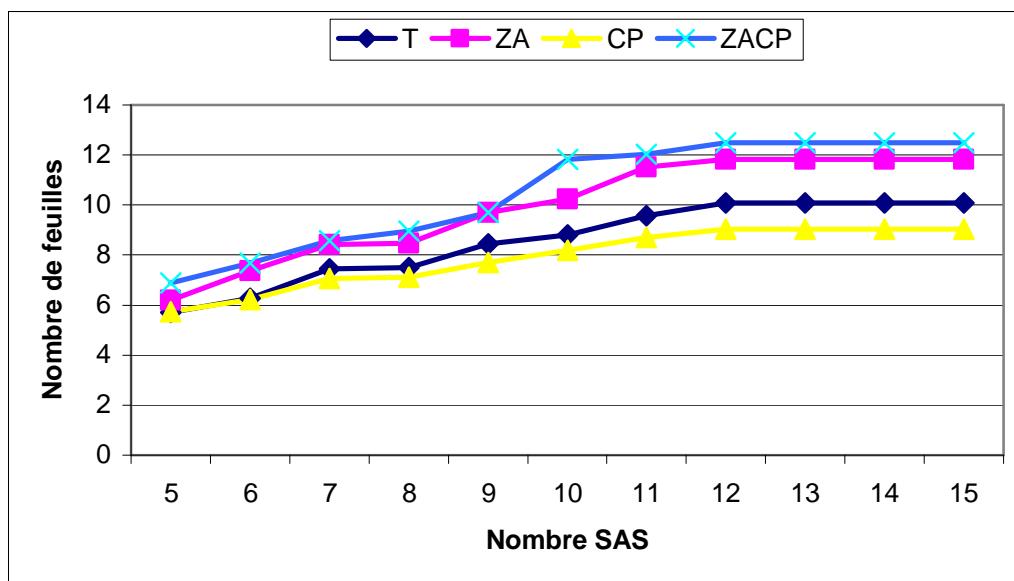


CP : cordons pierreux, T : témoin, ZA : zaï agricole, ZACP : zaï agricole +cordons pierreux.

Figure 31: Stade de développement du sorgho

II.1.1.3- Nombre de feuilles

La **figure 32** montre l'évolution du nombre de feuille des plants de sorgho. Au début des observations, à la 5^{ème} SAS, le nombre moyen de feuilles des plants pour les traitements était compris entre 5 feuilles et 7 feuilles. D'une semaine à l'autre, le nombre de feuille augmente plus rapidement sur les parcelles de ZACP, qui sont suivies par les parcelles de ZA. L'augmentation est lente sur les parcelles de CP. A partir de la 12^{ème} SAS, les nombres de feuilles sont restés constants jusqu'à la fin des comptages. Le plus grand nombre de feuilles est compté sur les parcelles de ZACP (12). Elles sont suivies de façon décroissantes par le ZA (11) le T (10) et le CP (9). Ces valeurs ne sont pas statistiquement différentes.

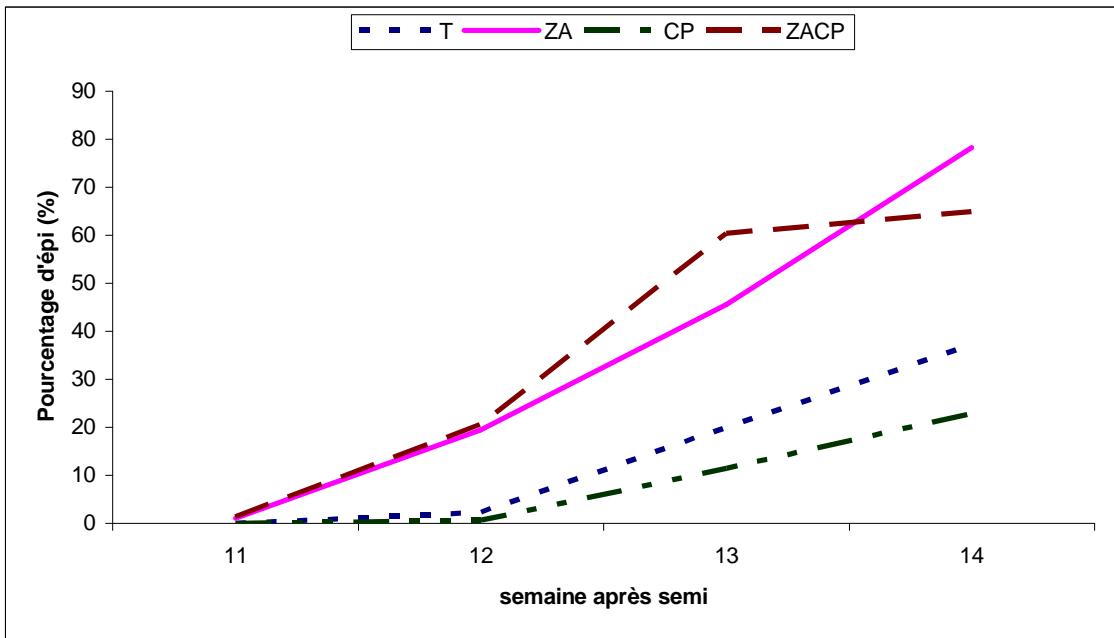


CP : cordons pierreux, T : témoin, ZA : zaï agricole, ZACP : zaï agricole +cordons pierreux.

Figure 32: Evolution du nombre de feuilles

II.1.1.4- L'épiaison

La **figure 33** montre l'évolution du taux d'épiaison par traitement. Les parcelles de ZA et de ZACP ont été les premières à présenter des épis à la 11^{ème} SAS avec un taux de 1,11% pour le ZA et 1,39% pour le ZACP. Entre la 11^{ème} et la 12^{ème} SAS, l'évolution du taux d'épiaison a été approximativement pareille sur ces deux parcelles. Mais entre la 12^{ème} et la 13^{ème} SAS, l'évolution a été plus importante avec le traitement ZACP et à partir de la 13^{ème} SAS, le taux d'épiaison est resté constant au niveau de ce dernier traitement. Au niveau du traitement ZA, le taux d'épiaison a évolué jusqu'à la 14^{ème} SAS. Sur les parcelles de cordons pierreux et celles témoins, les premiers épis sont observés à la 12^{ème} SAS. L'évolution du taux a été lente jusqu'à la 14^{ème} SAS.



CP : cordons pierreux, T : témoin, ZA : zaï agricole, ZACP : zaï agricole +cordons pierreux.
Figure 33: Evolution du taux d'épiaison

II.1.2- Composantes du rendement

L'impact des CES/DRS sur les composantes du rendement du sorgho pour les campagnes 2008, 2009 et 2010 est illustré par le **tableau XVIII**. Le ZA et le ZACP sont les traitements qui ont le plus impacté les composantes du rendement. Dès la première campagne, ces deux traitements se sont distingués mais la campagne 2009 a été celle qui a connu leurs meilleures expressions. Pour le nombre de plants à l'hectare, le ZA et le ZACP ont permis de l'améliorer significativement ($p = 0,025$) de 6510 plants et de 4123 de plants par rapport au T, soit des hausses respectives de 8,29 et de 5,25%. Après la phase d'épiaison, le nombre d'épis dénombrés sur le ZA et le ZACP sont de 32900 (77,51%) et de 21138 (49,80%) significativement ($p = 0,002$) supérieur à celui du T. Le nombre d'épis ayant porté de grains est aussi plus important ($p = 0,001$) dans le ZA et le ZACP. Ils enregistrent 52604 (288,57%) et 41015 (225%) d'épis utiles de plus que le T. On constate par ailleurs que, 20833 épis soit 49,08%, ne se sont pas remplis. Les épis du ZA et du ZACP sont ceux qui contiennent le plus de grains. Le nombre moyen de grains par épis est de 689 (302,19%) et 460 (202,19%) plus élevé ($p = 0,011$) respectivement dans le ZA et le ZACP par rapport au T. Et il en est de même pour le poids de 1000g du ZA et du ZACP qui est 3 fois supérieur à celui du T.

Pour tous les paramètres des composantes du rendement, le CP a eu des valeurs inférieures à celles du T pour toutes les campagnes.

Tableau XVIII: Variation des composantes du rendement

Traitements	Nombre de plants/ha			Nombre d'épis totale/ha			Nombre d'épis utiles/ha			Nombre de grains/épi			Poids de 1000 grains (g)		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010
ZA	83736	85069a	85036	74681 ^a	75347 ^a	75311 ^a	68833a	70833 ^a	70633 ^a	901 ^a	917a	906 ^a	25,19 ^a	26,19a	25,78 ^a
ZACP	81016	82682a	82646	62252 ^b	63585 ^a	63568 ^{ab}	56911	59244 ^a	59112 ^a	669 ^{ab}	689a	676 ^{ab}	25,51 ^a	26,18a	25,69 ^a
CP	76559	78038b	77972	39173 ^c	17578 ^c	17542 ^c	10184	10850 ^b	10726 ^b	199 ^b	205b	202 ^b	5,95 ^b	6,28c	5,95 ^b
T	74705	78559b	78524	16178 ^d	42447 ^b	41774 ^b	17229	18229 ^b	18163 ^b	212 ^b	228b	222 ^b	8,88 ^b	8,89b	9,03 ^b
Probabilités	0,261	0,025	0,63	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,008	0,011	0,009	0,005	0,005	0,004
Signification	NS	S	NS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	S	HS	HS	HS	HS	HS

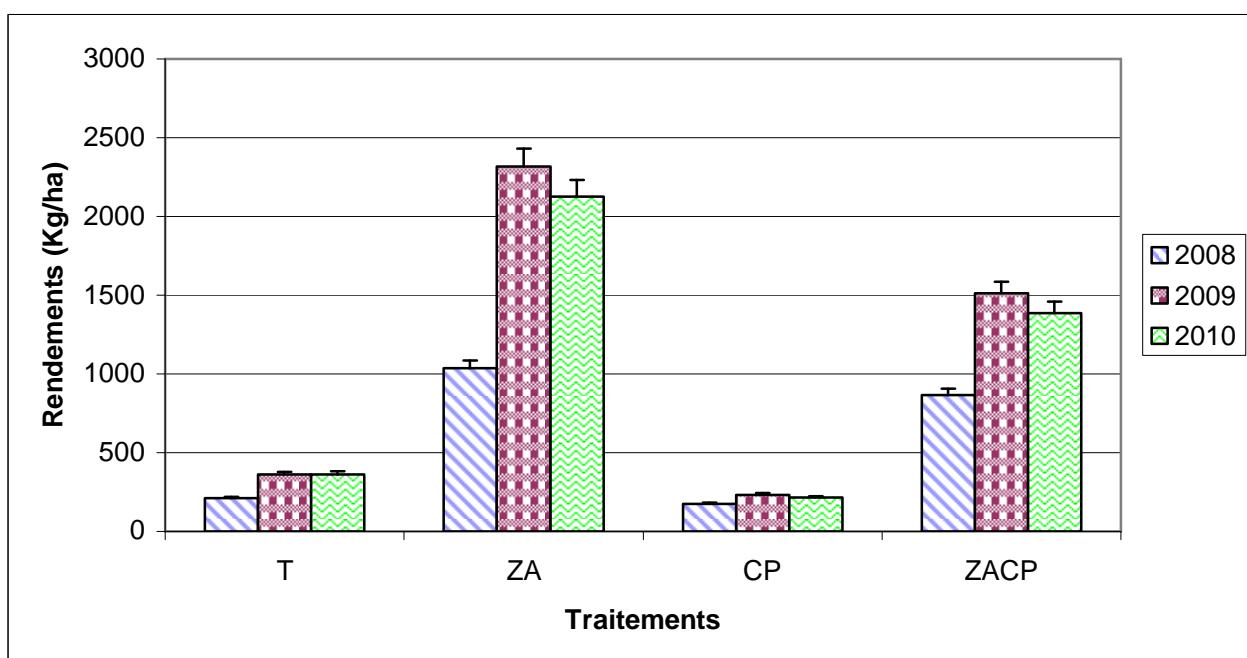
HS : Hautement significatif, S : Significatif, NS : Non significatif. Les moyennes dans la même colonne suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% selon le test de Newman Keuls.

CP : cordons pierreux, T : témoin, ZA : zaï agricole, ZACP : zaï agricole +cordons pierreux.

II.1.3- Estimation des rendements

II.1.3.1- Rendement grains

La **figure 34** présente les rendements en grains du sorgho au cours des trois campagnes agricoles. Comme on peut le remarquer, les rendements du sorgho ont été largement influencés par les différents traitements. Dès la première année de test en 2008, les traitements ZA et ZACP ont enregistré des rendements 5 et 4 supérieurs au T. A la deuxième année (2009), l'impact des mêmes traitements sur la production a été plus significatif. En effet, les rendements ont été 6 fois supérieurs pour le ZA et 4 fois pour le ZACP. En troisième année, on observe une légère baisse des rendements dans tous les traitements par rapport à la deuxième année. Les rendements sont passés de 2316,77 kg/ha à 2126,78 kg/ha soit une baisse de 8,20 % pour le ZA. Les pertes ont été de 16,67 kg (7,22%) et 123,71 kg (8,18%) respectivement pour le CP et le ZACP. Toutefois, les valeurs sont restées supérieures à celles de la première année. Le T seul a eu un gain de 3,13 kg soit une augmentation de 0,87%. Durant ces trois ans (2008 ; 2009 et 2010), le traitement CP a eu des rendements en grains inférieurs au T. Le rendement en grains et la teneur du sol en Pa sont significativement corrélés (**Fig. 35**) ($P = 0,016$ et $r = 0,68$).



CP : cordons pierreux, T : témoin, ZA : zaï agricole, ZACP : zaï agricole +cordons pierreux.

Figure 34: Variation de la production du sorgho de 2008 à 2010

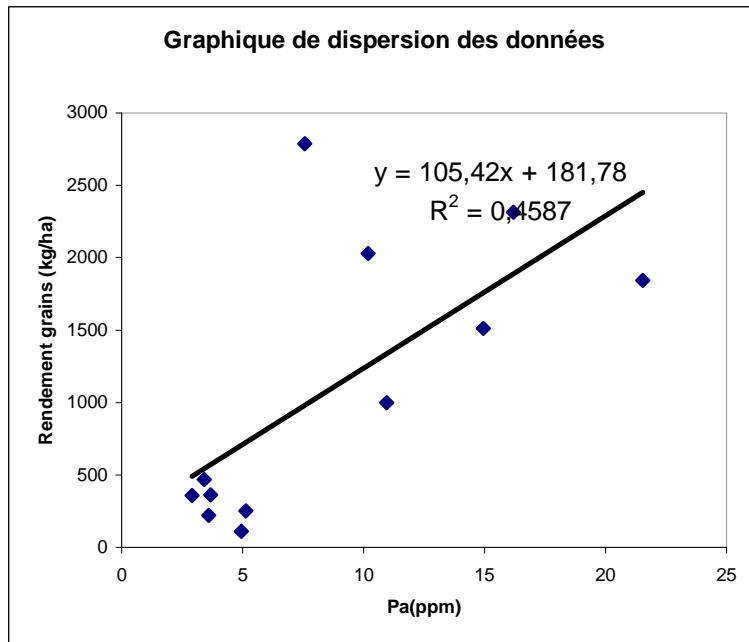
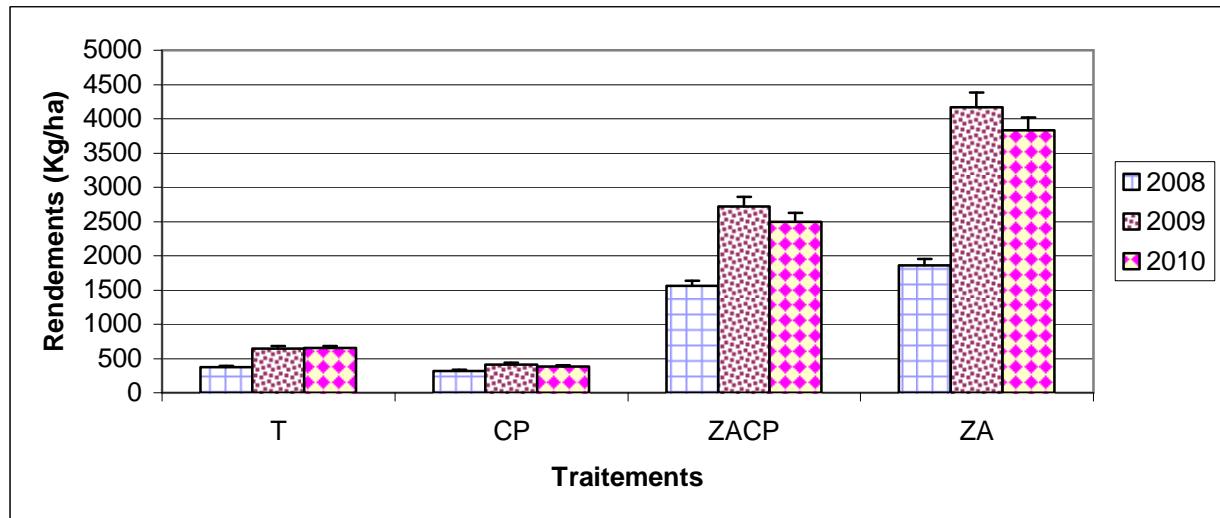


Figure 35: Corrélation entre la production en grains et le phosphore assimilable

II.1.3.2- Rendement en pailles

L'évolution du rendement en pailles des différents traitements est présentée sur **la figure 36**. Comme le rendement en grains, le rendement en pailles a suivi la même évolution pendant les 3 ans de l'expérimentation. Dès la première année, le ZA et le ZACP se sont distingués significativement ($P<0,001$) par leur production en pailles. Ils ont eu des rendements en pailles 5 (ZA) et 4 (ZACP) fois supérieurs au T. Pour la deuxième année, le rendement en pailles a été significativement ($P<0,001$) amélioré par le ZA et le ZACP qui ont eu respectivement des productions 6 et 4 fois plus élevées que le T. Comparativement à 2008, les traitements ont enregistré une hausse de leur production en pailles de 99,84 kg (CP), 1164,74 kg (ZACP), 2306,77 kg (ZA) et 211,29 kg pour le T. En 2010, le rendement a régressé par rapport à 2009 sauf pour le T où on a noté une hausse de 5,88 kg (0,91%). Les pertes en pailles ont été de 30 kg (7,21%), 222,68 kg (8,18%) et 341,98 kg (8,20%) respectivement pour le CP, le ZACP et le ZA. Malgré ces baisses, les rendements sont nettement supérieurs à ceux de la première année. L'analyse de variance montre une différence hautement significative ($P = 0,001$) entre les parcelles traitées et le T. Le CP a produit moins de biomasse que le T en 2008, 2009 et 2010 respectivement de 61,03 kg, 232,48 kg et 268,36 kg. La biomasse sèche est significativement et positivement ($p = 0,001$; $r = 0,82$) corrélée au Pa (**fig. 37**).



CP : cordons pierreux, T : témoin, ZA : zaï agricole, ZACP : zaï agricole +cordons pierreux.
Figure 36: Evolution de la production en pailles de 2008 à 2010

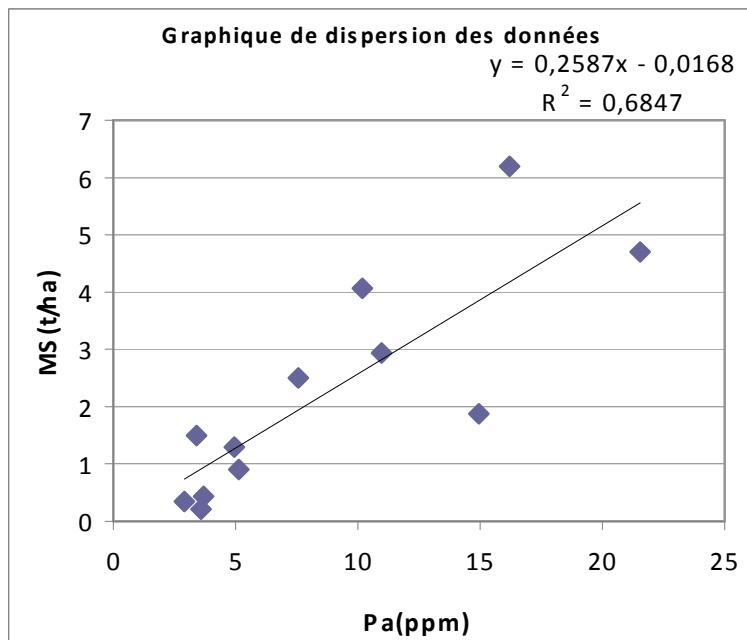


Figure 37: Corrélation entre la production en paille et le phosphore assimilable

II.1.3.3-Evaluation de la rentabilité financière des traitements

L'évaluation de la rentabilité financière des traitements est présentée au **tableau XIX**. Le ZA avec 304 985 FCFA réalise le revenu le plus élevé et le CP avec 34 563 FCFA enregistre le revenu le plus faible. En termes de bénéfice, la technique du zaï agricole seule et celle combinée avec les cordons pierreux permettent des gains substantiels respectifs de 179 859 FCFA et 85 151 FCFA. L'aménagement en CP et le T enregistrent des pertes respectives de -14 650 et de -13 227 FCFA. Le franc supplémentaire investi rapporte en termes de bénéfice

5,02 fois plus pour le ZA et 2,26 fois plus pour le ZACP. Pour l'aménagement en CP, le franc supplémentaire investi entraîne une perte de 0,28 FCFA.

Tableau XIX: Evaluation de la rentabilité financière des traitements

Traitement	T	CP	ZA	ZACP
Coût d'aménagement	20000	25100	58500	63600
Coût d'exploitation	45173	24113	66626	60801
Coût total	65173	49213	125126	124401
Recette sur grains	43549	28975	255676	175672
Recette sur paille	8397	5588	49309	33880
Revenu total	51946	34563	304985	209552
Bénéfice (revenu - coût)	-13227	-14650	179859	85151
Coût additionnel lié à la réalisation de la technique	0	5100	38500	43600
Bénéfice additionnel lié à la réalisation de la technique	0	-1423	193086	98378
Bénéfice additionnel /coût additionnel (B/C)	-	-0,28	5,02	2,26

CP : cordons pierreux, T : témoin, ZA : zaï agricole, ZACP : zaï agricole +cordons pierreux.

II.2- Discussion

Pour la plupart des paramètres étudiés, le ZA et le ZACP ont induit une amélioration significative comparativement au T sauf pour ce qui concerne le taux de levée où les différences n'ont pas été significatives. Ceci s'expliquerait par le fait que la germination des grains n'exige pas de conditions exceptionnellement particulières ; le facteur limitant pour cette phase étant principalement l'humidité du sol. A cela s'ajoute le fait que les parcelles T et CP sont labourées. Pendant la phase de la croissance, les exigences du sorgho apparaissent et l'on s'aperçoit que dans les parcelles de ZA et de ZACP, les plants se développent mieux. On y observe les meilleures croissances en hauteur des plants et les plus grands nombre de feuilles et d'épis. Ces résultats sont la traduction du rôle incontesté de la fumure organique sur le développement des plants. Yougbaré (2008) constatait également que l'apport de fumure organique induisait un bon développement végétatif du sorgho.

L'apport du fumier a induit une augmentation du rendement en grains de 6 à 4 fois plus élevés dans les traitements ZA et ZACP par rapport au T et une augmentation de la production en pailles du même ordre de grandeur. Le principal élément chimique qui explique ces performances serait le Pa. En effet, le rendement en grains et la teneur du sol en Pa sont significativement corrélés ($P = 0,01$ et $r = 0,68$). Koulibaly et al. (2009) indiquent également

que l'apport localisé de la MO entraîne une amélioration du nombre d'épis total à l'hectare et l'augmentation du poids de 1000 grains. Zougmoré *et al.* (2004a) et Sawadogo *et al.* (2008) dans le nord, ont obtenu respectivement dans leur expérimentation des rendements 24 et 9 fois supérieurs avec le ZA. Les écarts de gain avec nos résultats sont probablement liés au fait que le déficit hydrique n'est pas au même degré dans les deux zones climatiques ; le cumul de la pluviométrie annuelle étant toujours plus important au sud qu'au nord. L'apport du fumier a induit une augmentation du rendement en grains et en pailles comparativement au rendement obtenu dans les traitements sans fumier. Cet accroissement significatif de rendement semble être lié à l'action fondamentale de la matière organique, résumée par Pieri, (1989) en trois rôles essentiels : elle stimule la formation des racines de la culture ; elle est un agent majeur pour la stabilité de la structure du sol ; elle a une influence directe sur la nutrition de la plante et sur les propriétés physicochimiques du sol, due à sa minéralisation et son importance dans la dynamique de N. Naitombaidé (2012) signale également que le rendement du sorgho est fortement corrélé avec la teneur du sol en MO. L'apport du fumier augmente la disponibilité des éléments nutritifs et l'humidité du sol. En effet, le fumier en tant que substrat organique favorise une accumulation d'eau (Pichot *et al.*, 1981 ; Zougmoré *et al.*, 2003b). En outre, la décomposition de la matière organique libère des éléments minéraux tels que l'azote, le phosphore, le potassium et aussi des micro-éléments indispensables à la croissance des cultures. Ainsi, les plantes y trouvent l'eau et les éléments nutritifs nécessaires pour la synthèse de la matière sèche. La corrélation significative et positive entre la production en pailles d'une part et celle en grains d'autre part en est une preuve. Par ailleurs, on a constaté que la production en grains et en pailles de la première année a été nettement inférieure à celle des deux autres années. A ce propos, De Blic (1998) atteste qu'un effet dépressif peut se manifester après mise en culture et affecter défavorablement l'installation et le développement du système racinaire. Cet effet disparaît en deuxième année de culture. Ceci pourrait donc justifier l'écart entre la première et la deuxième année. Par contre les baisses de production enregistrées en 2010 seraient liées à l'excédent pluviométrique de cette campagne. En effet, avec un cumul de 1254 mm d'eau tombée, l'année 2010 est la plus pluvieuse des quinze dernières années. Cependant, les 2126 kg/ha et 1511,73 kg/ha de sorgho récoltés pendant cette campagne agricole dans le ZA et le ZACP sont nettement supérieurs aux rendements de certains paysans utilisant la fumure organique (537 à 810 kg/ha) dans la même zone (Ouédraogo, 2011) et au rendement moyen du sorgho de la région qui est estimé à 1190 kg/ha pour la même campagne (MAHRH, 2010). En outre, le ZACP s'est montré moins efficient

que le ZA. Il a en effet, enregistré des rendements inférieurs à ceux du ZA. L'excédent pluviométrique pendant toute la période de l'expérimentation pourrait justifier cette différence de performance. En effet, pendant le mois d'août on assistait à un engorgement temporaire des poquets de zaï dans les parcelles de ZACP. L'eau et l'air occupant les mêmes vides dans le sol, lorsque le sol est engorgé d'eau, il y a forcément un manque d'air. Or c'est l'oxygène de l'air contenu dans le sol que les racines des plantes utilisent pour la respiration. Ainsi, l'engorgement du sol entraîne un manque d'oxygène. Ce qui réduit l'activité respiratoire des racines et par conséquent la diminution de l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs. Ceci a pour conséquence la diminution de la production de matière sèche.

Comparativement au T, le CP ne s'est pas distingué positivement et a eu parfois des valeurs de rendement en grains et en pailles inférieures au T. Dans les deux traitements, un grand nombre de plants sont morts sans avoir bouclé leur cycle de développement. Ceci est en accord avec les résultats de Zougmoré et *al.* (2000) obtenus dans la zone sahélienne semi-aride. Les cordons pierreux pourraient donc entraîner un appauvrissement du sol en composés organiques, si la technique n'est pas accompagnée d'un apport de fumier ou de compost dans les différentes bandes de cordons de pierres (Doamba et *al.*, 2011). Il apparaît que la conservation de l'eau sans addition de nutriments n'induit pas une production supplémentaire significative des cultures, particulièrement en année de bonne pluviométrie. La combinaison des techniques de conservation des eaux et des sols et de défense et restauration des sols (CES/DRS) et de la fertilisation organique améliore les caractéristiques chimiques du sol et sa productivité (Zougmoré et *al.*, 2002 ; Zougmoré et *al.*, 2004b). L'aménagement en ZA ou ZACP constitue un investissement rentable en zone agricole. En effet, les deux traitements permettent au producteur d'engranger des bénéfices respectifs de 179 859 FCFA et de 85 151 FCFA. Ces gains sont nettement supérieurs à celui obtenu par Barro et *al.* (2005) avec le zaï manuel qui est de 17 270 FCFA. Par ailleurs, les mêmes auteurs ont réalisé une marge bénéficiaire de 167 337 FCFA avec le zaï mécanisé (zaï réalisée à la Charrue). Les performances du ZA et du ZACP s'expliqueraient d'une part par leur rendement plus élevé et d'autre part par le fait que nous avons utilisé des pioches et non pas des dabas pour le creusage des poquets de zaï. Ce qui a permis de réduire considérablement le temps de travail et la main d'œuvre. Le franc supplémentaire investi rapporte en termes de bénéfice 5,02 plus pour le ZA et 2,26 fois plus pour le ZACP. Pour l'aménagement en CP, le franc supplémentaire investi entraîne une perte de 0,28 FCFA. Cela voudrait dire que le CP uniquement comme traitement n'est pas recommandable au producteur.

Conclusion partielle

Il ressort de notre étude que les traitements ZA et ZACP, améliorent significativement le développement du sorgho et les composantes du rendement par rapport au T. Sur le plan de la production, les deux traitements (ZA, ZACP) ont permis une augmentation des rendements grains 6 fois (ZA) et 4 fois (ZACP) supérieurs au T. Cela s'est traduit également par un gain bénéficiaire de 179 859 FCFA et de 85 151 FCFA respectivement pour le ZA et le ZACP. Le rendement du CP ne s'est pas différencié de celui du T. Ces résultats démontrent qu'un apport localisé de la fumure organique avec la technique du zaï peut être une voie d'intensification de la production agricole à l'Ouest du Burkina Faso. La fertilité du sol a donc été déterminante pour la production du sorgho.

CHAPITRE 3 : IMPACT DES DISPOSITIFS CES/DRS SUR LA REGENERATION VEGETALE

I- Matériel et méthode

I.1- Inventaire des ligneux

L'inventaire des ligneux a été fait en septembre 2007 et en septembre 2010. Les paramètres dendrométriques et les données sur la vitalité des plantes ont été évalués suivant la méthodologie décrite précédemment (deuxième partie, **chapitre 2**).

I.2- Inventaire des herbacées

Dans un premier temps, l'inventaire des espèces végétales a été fait de manière exhaustive sur chacune des parcelles. Toutes les espèces herbacées qui ont été rencontrées dans les parcelles ont été inventoriées. Les espèces herbacées ont été classées par groupes ou « formes biologiques » afin d'apprécier d'une manière générale l'état d'évolution du milieu. Les deux formes biologiques retenues sont les herbacées annuelles et les herbacées vivaces ou pérennes (César, 1992 ; Kiéma, 2007).

Le suivi de la dynamique de la végétation herbacée a été fait par la méthode des points quadrats (Daget et Poissonet, 1971 ; Mahamane et *al.*, 2007) suivant un réseau de lignes de 20 m matérialisées par des piquets métalliques (Somé, 1996 ; Kiéma, 2008). La méthode a consisté à tendre un ruban au dessus du toit du tapis herbacé et à effectuer une lecture verticale tous les 20 cm tout le long à l'aide d'une tige métallique à bout effilé. A chaque point de lecture et le long du bout effilé de la tige, tous les contacts avec les herbes sont pris en compte. L'intérêt de l'étude de la structure de la strate herbacée par point-contact est qu'elle permet une caractérisation très précise et quantifiée de l'état des milieux soumis à l'action de l'homme ou à la pâture par les herbivores domestiques ou sauvages. De même avec cette méthode, il est possible de comparer les formations végétales herbacées soumises aux différents traitements. Sur des lignes permanentes de relevé, lorsque les mesures de recouvrement par point-contact sont répétées plusieurs années consécutives, il est possible de tirer une conclusion sur l'évolution des formations végétales étudiées (Kiéma, 2007). Le nombre de points de lecture sur une ligne de 20 m a été de 100, soit 300 points pour chaque parcelle élémentaire et 600 points pour chaque traitement. Une précision correcte des mesures est généralement obtenue avec 200 à 400 points de lecture en zone Nord et Sud soudanienne,

soit 2 à 4 lignes de 100 points (20 m) par type de formation végétale étudiée (Zoungrana, 1991a ; Sinsin, 1993 ; Sawadogo, 1996). Nous avons distingué 4 strates : la strate 0-20 cm, la strate 20-50 cm, la strate 50-100 cm et la strate >100 cm. Pour les parcelles en cordons pierreux, les lignes ont été placées successivement en amont, au milieu et en aval des cordons. Dans les autres traitements, les lignes ont été disposées en haut et en bas de pente et au milieu de la parcelle. La biomasse herbacée a été estimée sur chaque parcelle dans 5 placettes de 1m² chacune par la méthode de la récolte intégrale (Akpo et Grouzis, 2004 ; Rakotoarimanana et al., 2008 ; Walter et Calvo, 2009). Les placettes sont disposées sur les deux diagonales de chaque parcelle. Le poids de l'herbe fauchée sur chaque placette a été mesuré. Un échantillon représentatif d'environ 500 g a été prélevé pour la détermination de la matière sèche (MS) à 105 °C à l'étuve pendant 24 heures.

I.3- Analyse des données

Les données collectées ont permis de calculer :

- la fréquence spécifique (FS) ou valeur absolue qui correspond au nombre de points où chaque espèce est rencontrée,
- La contribution spécifique (CSi) de chaque espèce qui est définie comme le rapport de la fréquence spécifique (FSi) de cette espèce à la somme des FS de toutes les espèces recensées sur 100 points échantillonnés.

$$CSi = \frac{FSi}{\sum_i^n FSi} \times 100 \quad \text{avec } n = \text{le nombre des espèces}$$

espèces et où CSi et FSi sont les contributions et les fréquences de l'espèce i.

Selon les auteurs de l'expression (Daget et Poissonet, 1971), sont appelées espèces productrices, toute espèce dont la contribution spécifique est au moins égale à 1%. Cependant, ils distinguent parmi ces espèces productrices, celles qualifiées de « très productrices » avec une contribution spécifique supérieure à 5%, et les espèces « peu productrices » (entre 1 et 5%). Dans la suite du texte, nous simplifierons cette définition en parlant seulement d'espèces productrices au delà de 5% de contribution spécifique (Kiéma, 2007)

- La capacité de charge (CC) est la quantité de bétail que peut supporter un pâturage sans se dégrader, le bétail devant rester en bon état d'entretien, voire prendre du poids ou produire du lait pendant son séjour sur le pâturage (Boudet, 1991). La capacité de charge a été calculée selon la formule de Boudet (1991) sur la base des phytomasses consommables.

$$CC = \frac{\text{production de la phytomasse (kg de MS/ha)} \times U}{6,25 \times \text{période d'utilisation (jour)}}$$

CC = Capacité de charge ; U = Taux d'utilisation (estimé à 40%, pour la zone sahélienne)

6,25 = consommation de l'UBT en Kg de matière de sèche par jour

UBT = Unité Bétail Tropical

- Le coefficient de similitude retenu pour apprécier le degré de ressemblance de la végétation entre les différents traitements est l'index de similitude de Jaccard (ISJ) parce qu'il tient compte uniquement de la présence des espèces dans la communauté étudiée, ce qui est primordial pour une étude de la diversité. L'ISJ varie de 0 (lorsqu'il n'existe aucune espèce en commun) à 1 lorsque les deux listes sont floristiquement identiques. Mais, pour mieux appréhender la notion, on peut aussi l'exprimer en pourcentage. Cet index est alors donné par

$$\text{le rapport suivant : } ISJ = \frac{c}{A + B - c} \times 100$$

c = nombre d'espèces communes à la liste 1 et à la liste 2 ; A = nombre d'espèces de la liste 1 ; B = nombre d'espèces de la liste 2. Les listes 1 et 2 d'espèces représentent successivement celles des deux traitements à comparer (Kiéma, 2008).

Le logiciel JMP a été utilisé pour la séparation des moyennes au seuil de 5% selon le test de Newman Keuls pour la variation verticale de la diversité floristique et le logiciel SPSS 11. 0 pour les autres analyses.

II- Résultats et discussions

II.1- Résultats

II.1.1- Dynamique de la strate ligneuse entre 2007 et 2010

Cette partie a pris en compte la richesse floristique, la densité et l'état de la régénération, le recouvrement, la distribution et la stratification de la végétation ligneuse.

II.1.1.1- Diversité (Richesse) floristique

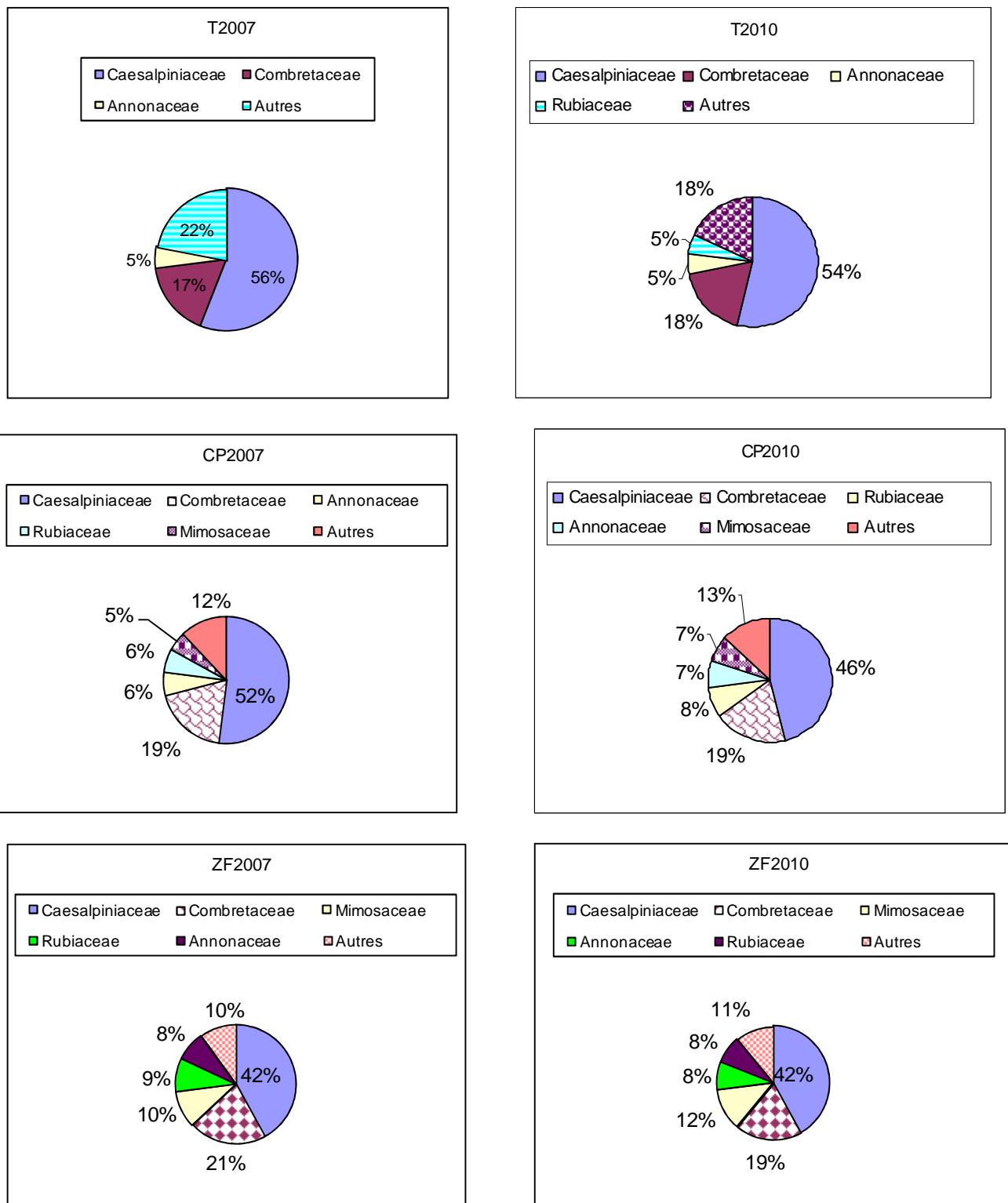
La **Figure 38 et l'annexe 9** donne la variation de la richesse floristique en fonction des traitements. Les effectifs des familles, des genres et des espèces augmentent significativement en fonction des traitements et au cours du temps. La flore ligneuse varie en fonction des traitements comme suit :

- en 2010 on dénombre dans le T 39 espèces reparties dans 15 familles dont, les plus abondantes en termes de densité et de fréquence sont : les *Caesalpiniaceae* (54%), les *Combretaceae* (18%), les *Annonaceae* (5%) et les *Rubiaceae* (5%). En 2007, 36 espèces reparties dans 15 familles étaient recensées avec trois (3) familles dominantes (*Caesalpiniaceae* (56%), *Combretaceae* (17%), *Annonaceae* (5%)),
- dans le CP, 44 espèces appartenant à 15 familles ont été recensées en 2010 avec les *Caesalpiniaceae* (46%), les *Combretaceae* (19%), les *Rubiaceae* (8%), les *Annonaceae* (7%), et les *Mimosaceae* (7%) qui sont les familles les plus représentées. En 2007, 32 espèces reparties dans 14 familles avaient été inventoriées avec les mêmes familles dominantes qu'en 2010 (les *Caesalpiniaceae* (52%), les *Combretaceae* (19%), les *Annonaceae* (6%), les *Rubiaceae* (6%) et les *mimosaceae* (5%)),
- pour le ZF, 49 espèces reparties dans 17 familles ont été recensées en 2010. Les *Caesalpiniaceae* (42%), les *Combretaceae* (19%), les *Mimosaceae* (12%), les *Annonaceae* (8%) et les *Rubiaceae* (8%) sont les familles les mieux représentées. En 2007 41 espèces distribuées dans 15 familles avaient été inventoriées et par ordre croissant, les *Caesalpiniaceae* (42%), les *Combretaceae* (21%), les *Mimosaceae* (10%), les *Rubiaceae* (9%) et les *Annonaceae* (8%) ont été les plus représentées.

On constate que sur le plan de l'abondance numérique des individus, les *caesalpiniaceae* occupent la première place et les *combretaceae* la deuxième place (**Fig. 38**); par contre sous l'angle de la richesse spécifique l'ordre est inversé. En effet, les *Combretaceae* représentent 16% (8) des espèces recensées dans le ZF, 20% (9) dans le CP et 23% (9) dans le T. Les effectifs en espèces des *caesalpiniaceae* sont de 8 (16%), 6 (14%) et 5 (13%) respectivement pour le ZF, le CP et le T en 2010.

De façon générale on constate une redistribution des familles, des espèces et le nombre d'individus entre 2007 et 2010. Ainsi, on est passé de 3 familles dominantes en 2007 dans le T à 4 familles dominantes en 2010. Le nombre d'individus des *Caesalpiniaceae* a été réduit de 6% dans le CP tandis que dans le ZF on note une régression de 2% des *Mimosaceae* et une augmentation de 2% des *combretaceae*. Dans tous les traitements l'espèce *Detarium microcarpum* Guill. et Perr est la plus fréquente. Sa fréquence est de 47,92% dans le T, 40,91% dans le CP et 29,66% dans le ZF pour l'année 2010. Sur le plan de la richesse spécifique on note des variations du nombre d'espèces de 8,33% ; 37,5% et 19,51% respectivement pour le T, le CP et le ZF (**Annexe 9**).

L'index de similitude de Jaccard (ISJ) ne montre pas de différences significatives entre les différentes communautés végétales des traitements en 2010 (ISJ>50%) (**Tab. XX**). Entre 2007 et 2010 la similitude de la végétation entre les différents traitements s'augmente.



T= Témoin, CP= Cordons pierreux, ZF= Zaï forestier

Figure 38 : Spectres floristiques des différents traitements

Tableau XX : Similitude entre les traitements

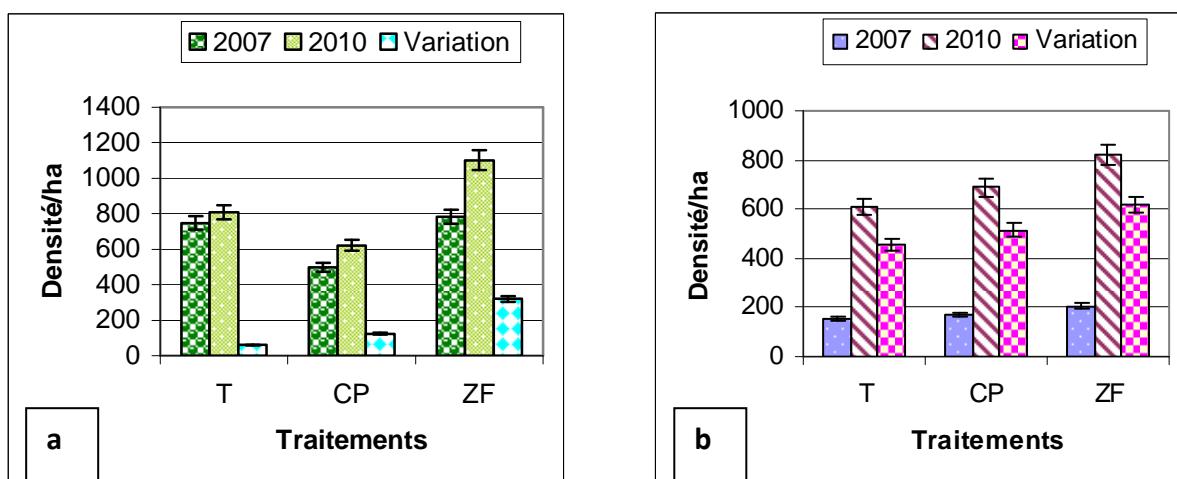
Traitements	Espèces communes		Index de Jaccard	
	2007	2010	2007	2010
T-CP	25	33	0,37	0,66
T-ZF	27	33	0,54	0,6
CP-ZF	26	36	0,55	0,63

T= Témoin, CP= Cordons pierreux, ZF= Zaï forestier

II.1.1.2- Densité et état de la régénération

La **figure 39** présente les densités à l'hectare des arbres adultes et de la régénération. Les plus grandes densités de régénérations ont été obtenues dans le ZF (1102 pieds/ha) en 2010 et la plus petite dans le CP (622 pieds/ha). Comparativement à 2007, on enregistre des hausses très significatives ($p= 0,003$) des densités des traitements par rapport au T. Ces hausses sont de 60 pieds/ha pour le T, 124 pieds/ha pour le CP et 320 pieds/ha pour le ZF..

Concernant les individus adultes, la plus forte densité a été enregistrée dans le ZF également (824 pieds/ha) et la plus petite dans le T (608 pieds/ha). Les variations ont été par ordre croissant de 618 pieds/ha pour le ZF, 516 pieds/ha pour le CP contre 456 pieds/ha pour le T. Ces valeurs ne sont pas statistiquement différentes.

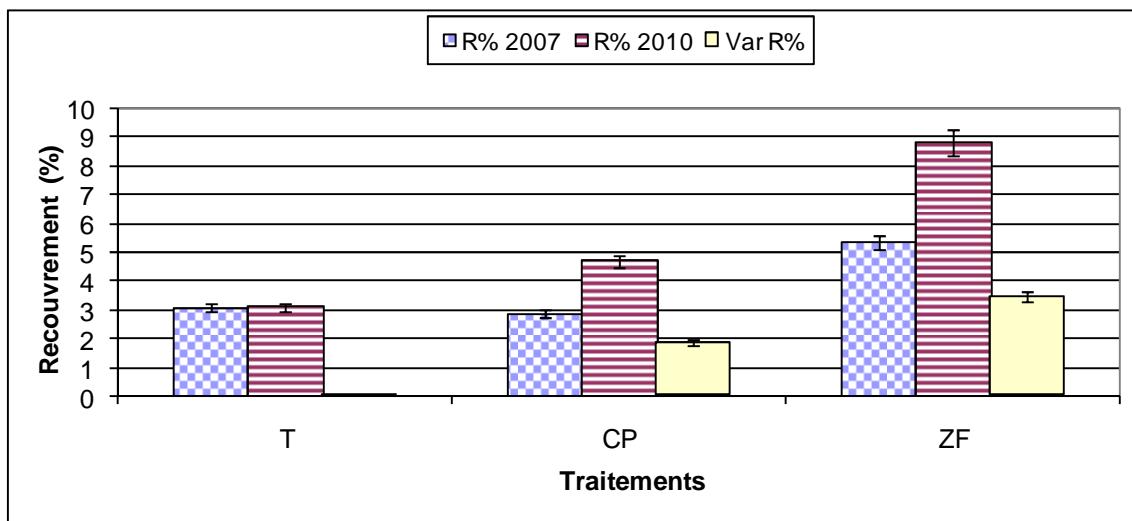


T= Témoin, CP= Cordons pierreux, ZF= Zaï forestier

Figure 39 : Densité de la régénération (a) et des individus adultes (b).

II.1.1.3- Recouvrement

Le recouvrement de la strate ligneuse dans les différents traitements est traduit par la **figure 40**. Le recouvrement ligneux global est plus élevé dans le ZF et le CP que dans le T en 2010. Sur le ZF et le CP, il est respectivement de 8,78% et de 4,66% contre 3,06% pour le T. L'analyse statistique montre une différence significative ($p = 0,04$) entre le ZF, le CP et le T. La variation inter annuelle du recouvrement est de 3,47% pour le ZF, 1,83% pour le CP contre 0,02% pour le T.

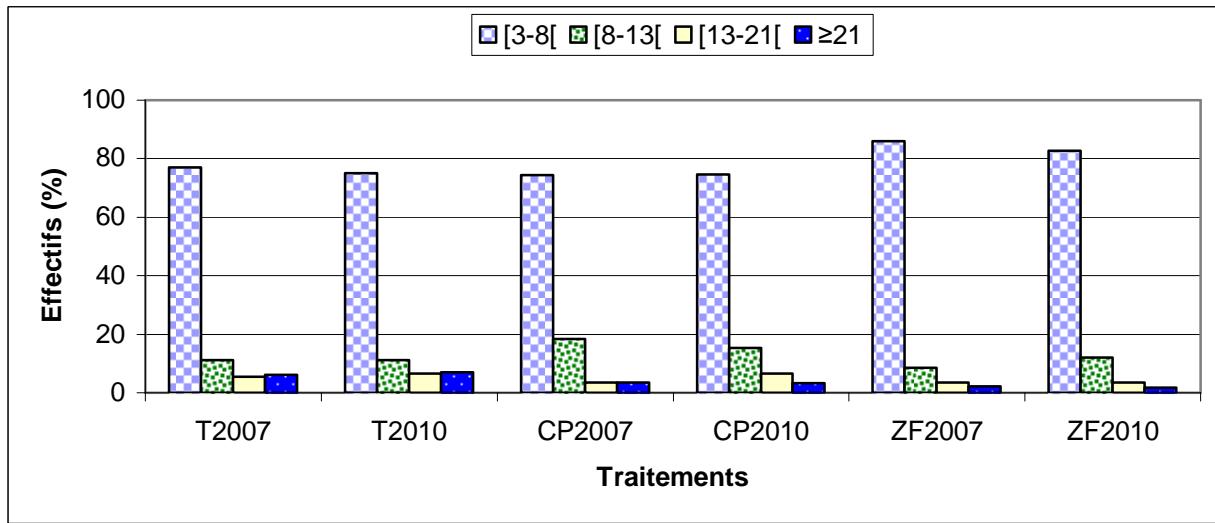


T= Témoin, CP= Cordons pierreux, ZF= Zai forestier

Figure 40: Recouvrement de la végétation ligneuse

II.1.1.4- Distribution horizontale

La distribution en classes de diamètre des populations adultes révèle un recrutement de plus en plus d'individus dans les classes supérieures (**Fig. 41**). Ceci traduit le renouvellement des populations par la régénération naturelle. Entre 2007 et 2010 on remarque qu'il ya eu plus d'individus adultes dans la classe [13-21[au détriment de la classe [8-13[dans le CP et de la classe [8-13[au détriment de la classe [5-8[dans le ZF. Dans le T, aucune variation sensible n'a été notée dans la période de l'étude pour ce qui est de la structure. Les populations des différents traitements présentent un état d'équilibre structural. Leur dynamique structurale est de type stable caractérisé par un grand nombre d'individus de petites classes de dimension (sujets jeunes), un petit nombre de grands individus (sujets adultes) et une réduction régulière du nombre d'individus d'une classe de dimension à la suivante.

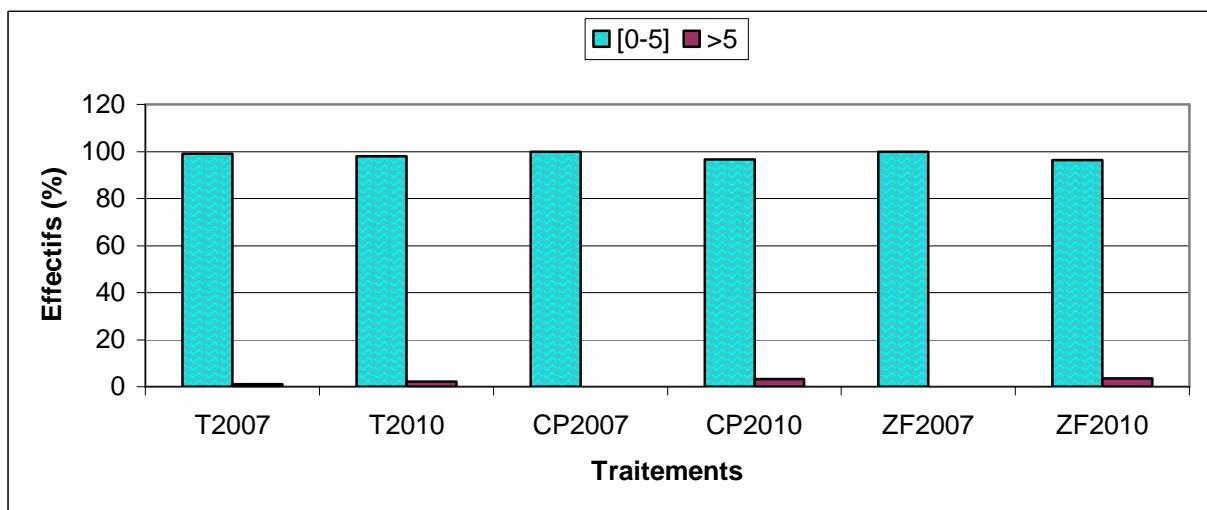


T= Témoin, CP= Cordons pierreux, ZF= Zaï forestier

Figure 41 : Distribution en classe de diamètre de la végétation ligneuse

II.1.1.5- Stratification

La figure 42 donne la structure verticale de la végétation ligneuse des différents traitements. Il ressort de cette figure que tous les traitements sont dominés par la strate arbustive ([0-5]. Cette strate représente 97,92% des individus recensés sur le T, 96,67% sur le CP et 96,39% sur le ZF en 2010. Entre 2007 et 2010, 3,33% et 3,61% des individus du CP et du ZF se sont affranchis pour se retrouver dans la strate arborée contre 1,02% pour le T. Cette strate est représentée par quelques pieds de *Ficus glumosa Del.* et de *Parkia biglobosa R. BC. ex G. Don.*



T= Témoin, CP= Cordons pierreux, ZF= Zaï forestier

Figure 42: Stratification de la végétation ligneuse

II.1.1.6- Etat végétatif et sanitaire des ligneux

Les caractéristiques du peuplement ligneux sont consignées dans le **tableau XXI**. Tous les paramètres ont enregistré des améliorations entre 2007 et 2010. Le taux d'individus sains s'est amélioré de 6,67% dans le CP, 6,74% dans le ZF contre 6,34% dans le T. Par ailleurs le taux de coupe a régressé par ordre croissant, de 19%, 12,45% et 6,23% pour respectivement le ZF, le CP et le T. La régénération a connu des hausses de 12,75% pour le ZF, 3,89% pour le CP contre 0,19% pour le T. Le taux de mortalité a enregistré des baisses de 0,03% pour le CP et 0,3% pour le T. Sur le ZF, aucun pied mort n'a été recensé. La dynamique globale de la végétation ligneuse s'est améliorée de 12,75% pour le ZF, 3,92% pour le CP contre 0,49% pour le T.

Tableau XXI: Etat végétatif et sanitaire du peuplement ligneux

Traitements	T		CP		ZF	
Périodes	2007	2010	2007	2010	2007	2010
Sains (%)	6,03	12,37	13,18	19,85	11,78	18,52
Coupes (%)	10,08	3,85	16,94	4,49	23,2	4,20
Régénérations (%)	81,90	82,09	71,03	74,92	63,62	76,37
Mortalités (%)	2	1,70	0,26	0,23	0	0
Dynamique (%)	79,9	80,39	70,77	74,69	63,62	76,37
Variation (%)	0,49		3,92		12,75	

T= Témoin, CP= Cordons pierreux, ZF= Zaï forestier

NB : Les différents paramètres (Sains, coupes, mortalité et régénérations) sont exprimés en pourcentage de l'effectif total des individus morts ou vivants.

II.1.2- Dynamique de la strate herbacée entre 2008 et 2010

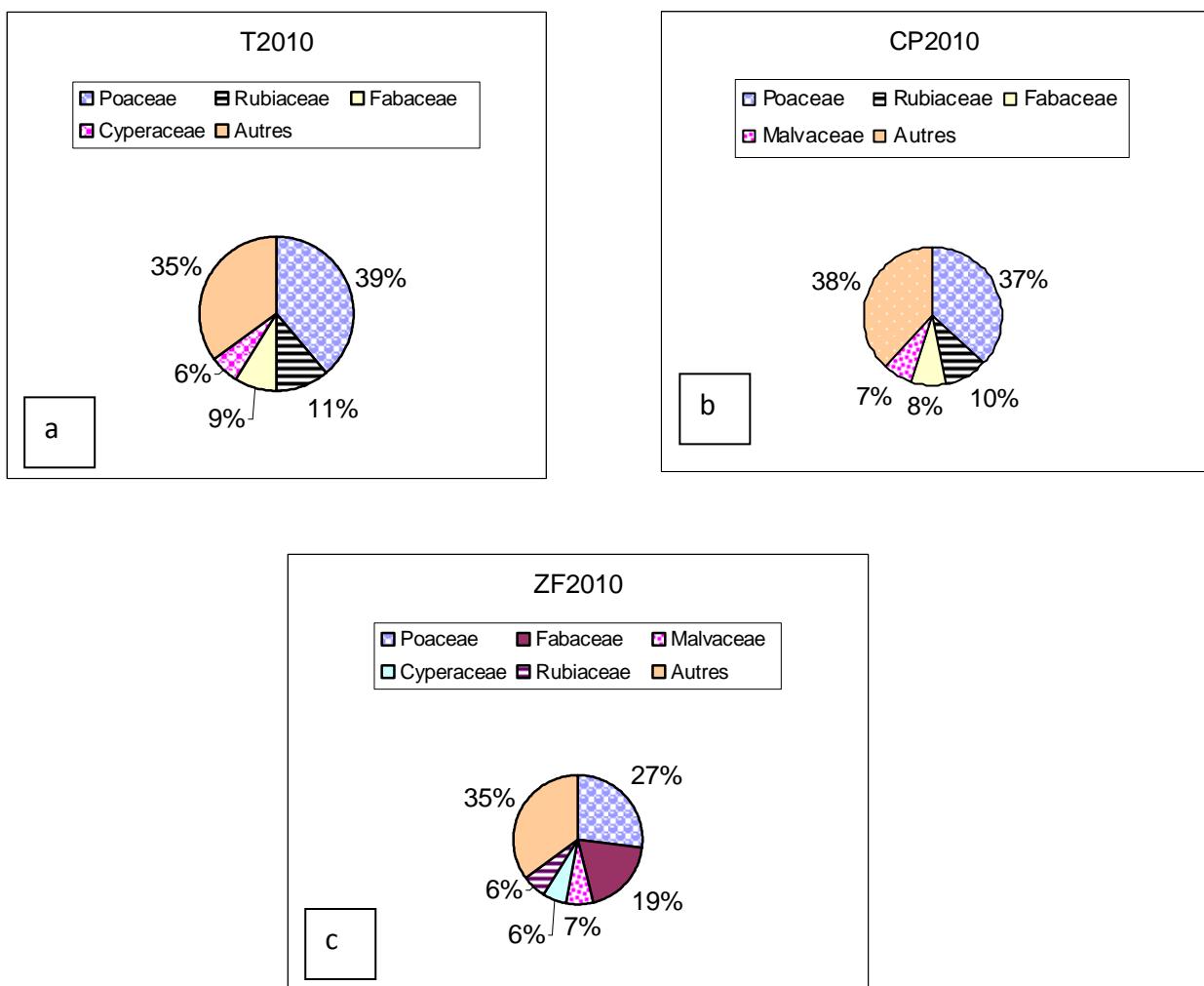
II.1.2.1- Comparaison floristique globale entre les traitements

Le bilan de trois années d'aménagement fait ressortir une grande variabilité inter annuelle et intra annuelle de la richesse spécifique entre les traitements.

II.1.2.1.1- Richesse spécifique herbacée

Les différentes techniques ont eu des effets significatifs sur la variation de la richesse spécifique. En troisième année d'aménagement, la richesse floristique herbacée d'ensemble du site ou diversité alpha (α) selon la terminologie de Whittaker (1972) se compose ainsi qu'il suit à l'issu de l'inventaire de 2010 (**Annexe 10**) :

- ❖ pour le ZF, 86 espèces reparties dans 25 familles ont été inventoriées. Les familles les plus représentées sont les *Poaceae* (27%), les *Fabaceae* (19%), les *Malvaceae* (7%), les *Cyperaceae* (6%), les *Rubiaceae* (6%) (**Fig. 43a**). Sur les 103 espèces recensées pour l'ensemble de tous les traitements, 83,5% sont rencontrées sur le ZF. Comparativement au T, le ZF a permis un accroissement du nombre d'espèces de 32 soit 59,26% et de 27 soit 45,76% par rapport au CP,
- ❖ dans le CP, on a recensé 59 espèces appartenant à 20 familles. Les familles les plus représentées sont les *Poaceae* (37%), les *Rubiaceae* (10%), les *Fabaceae* (8%) et les *Malvaceae* (7%) (**Fig. 43b**). Des espèces inventoriées sur le site, 57,28% se retrouvent sur le CP. Ce dernier a connu une augmentation de 5 espèces (soit 9,26%) par rapport au T,
- ❖ pour ce qui est du T, 54 espèces reparties dans 18 familles ont été recensées. Les familles les plus représentées sont les *Poaceae* (39%), les *Rubiaceae* (11%), les *Fabaceae* (9%), les *Cyperaceae* (6%) (**Fig. 43c**). Sur la totalité des espèces recensées (103), 52,43% sont rencontrées dans le T.



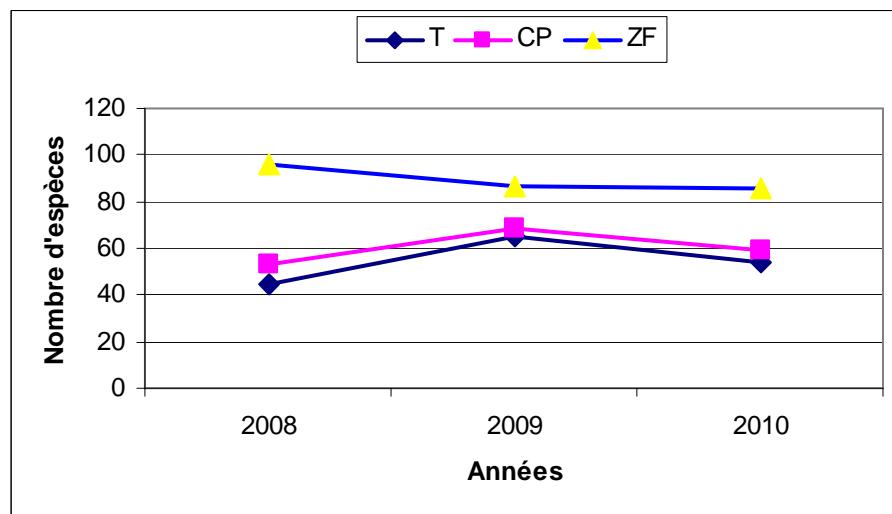
T= Témoin, CP= Cordons pierreux, ZF= Zaï forestier

Figure 43 : Spectres floristiques herbacés au niveau des traitements : zaï forestier (c), cordon pierreux (b) et du témoin (a).

II.1.2.1.2- Variation de la composition floristique

Les variations du nombre d'espèces par traitement et de l'index de similarité de Jaccard entre les traitements sont illustrées par la **figure 44a et 44b**. Comme on peut le constater, les traitements ZF et CP ont plus impacté le nombre d'espèces pendant toute la période de l'expérimentation. Aussi, dès la première année, le ZF a-t-il multiplié le nombre d'espèces du T par 2,13 et celui du CP par 1,81 fois. Le CP a contribué à relevé le nombre d'espèces de 17,78% (8) par rapport au T. En 2009, pendant que le ZF enregistrait une baisse de sa diversité spécifique de 9,38% (9 espèces) par rapport à l'année précédente, le CP et le T connaissaient une augmentation des leurs de 30,19% et 44,45%, soit des hausses respectives de 16 et de 20 espèces. Toutefois le nombre d'espèces du ZF reste plus élevé de 26,09% (18)

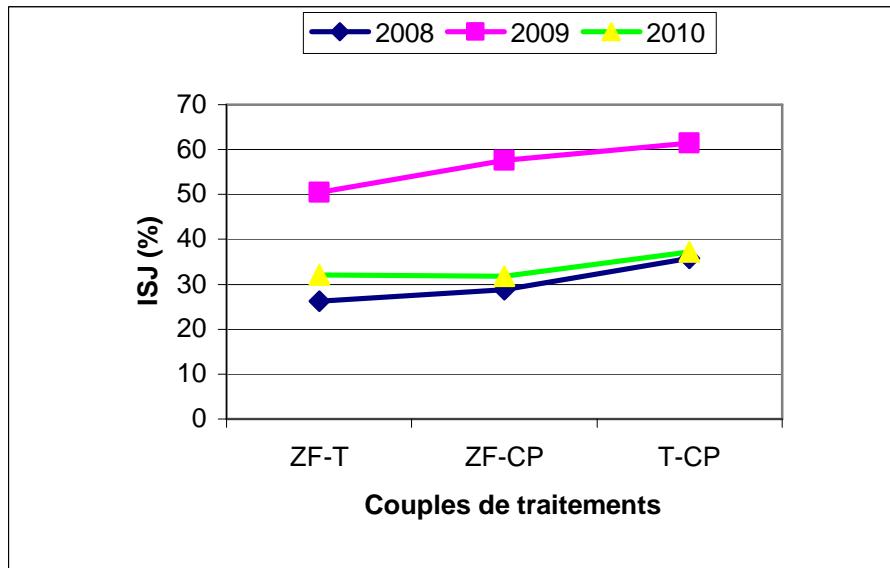
et 33,85% (22) respectivement par rapport au CP et au T. En troisième année, le nombre d'espèces du ZF est resté plus ou moins stable (1 espèce de moins) par rapport à 2009. Par contre dans le CP et le T, les baisses ont été relativement importantes. Elles ont été de 10 espèces (14,49%) et 11 espèces (16,92%) respectivement pour le CP et T.



T= Témoin, CP= Cordons pierreux, ZF= Zaï forestier

Figure 44a: Variation du nombre d'espèces des différents traitements

Concernant l'étude de la similarité des différentes communautés végétales des différents traitements, on note une dissimilarité de la composition floristique en 2008 : ISJ= 26,24% pour le couple T-ZF, 28,86% pour ZF-CP et 37,71% pour T-CP. En 2009, aucune différence significative n'a été remarquée entre la composition floristique des différentes communautés végétales (ISJ>50%). Par ailleurs, en 2010 les différentes communautés végétales se sont distinguées significativement. Les similitudes ont été de 32,14% ; 31,72% et 37,17% pour respectivement les couples ZF-T, ZF-CP et T-CP. De façon générale, la dissimilarité est toujours plus accusée pour le couple ZF-T que celui CP-T (**Fig. 44b**)



T= Témoin, CP= Cordons pierreux, ZF= Zaï forestier

Figure 44b: Variation de l'indice de similitude de Jaccard entre flore herbacée des traitements.

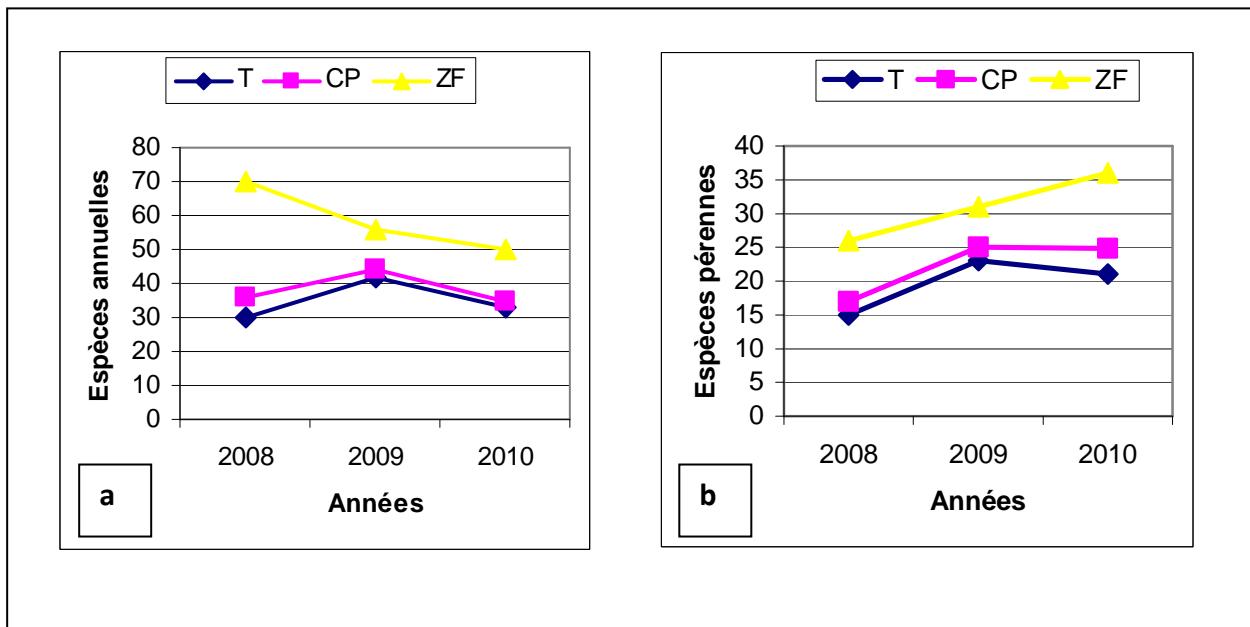
II.1.2.1.3- Succession de la strate herbacée

L'évolution du nombre d'espèces pérennes et annuelles pour chaque traitement est présentée par les **figures 45a et 45b**. Une campagne pluvieuse après l'aménagement du site, on s'aperçoit que le ZF a multiplié le nombre d'espèces annuelles du T par 2,33 fois et celui du CP par 1,94 fois. Le CP a permis une hausse de 20% du nombre d'espèces annuelles (6) par rapport au T. Quant au nombre d'espèces pérennes, le ZF a multiplié celui du T par 1,73 fois et celui du CP par 1,53 fois. Le CP a induit une hausse de 15,33% en espèces pérennes (2) par rapport au T.

En 2009, le ZF a enregistré une baisse de ses espèces annuelles de 20% (14) comparativement à l'année précédente alors que le CP et le T enregistraient des augmentations respectives de 40% (12 espèces) et de 22,22% (8 espèces). En 2010, le ZF et le CP ont enregistré des baisses de 10,71% (6) et 20,45% (9) de leurs espèces contre 21,43% (9) pour le T.

Pour ce qui concerne les herbacées vivaces, le ZF et le CP ont connu des variations respectives de 19,23% (5) et 47,06% (8) de leurs espèces entre 2008 et 2009 et 16,22% (5) et 0% (0) entre 2009 et 2010. Pour le T les variations ont été de 53,33% (8) et - 8,70% (- 2) au cours de la même période.

Pendant l'expérimentation, le nombre d'espèces vivaces et annuelles a oscillé dans le CP et le T. Par contre dans le ZF, les herbacées annuelles ont baissé continuellement de 70 à 50 espèces soit une baisse de 28,58% tandis que les vivaces ont cru de 26 à 36 espèces soit une hausse de 38,46%.



T= Témoin, CP= Cordons pierreux, ZF= Zaï forestier

Figure 45 : Evolution du nombre d'espèces annuelles (a) et pérennes (b) par traitement

II.1.2.1. 4- Contribution spécifiques des espèces productrices (CS>5%)

Les observations montrent que les aménagements ont particulièrement favorisé dès la première (2008), la présence de *Andropogon ascinodis* C.B.CI., *Andropogon gayanus* Kunth., *Andropogon pseudapricus* Stapf., *Diheteropogon hagerupii* Hitchc., *Loudetia simplex* (Nees) C.E Hubbard, *Loudetia togoensis* (Pilger) C.E Hubbard, *Rhytachne gracilis* Stapf., *Spermacoce stachydea* DC. (**Tab. XXII**). Lorsque l'on considère le nombre d'espèces productrices, on se rend compte qu'il est plus élevé dans le ZF et le CP comparativement au T. Ainsi, ce nombre passe de 5 espèces dans le T à 8 espèces dans le CP et le ZF. En outre, entre 2008 et 2009, *Loudetia togoensis* (Pilger) C.E Hubbard régresse dans le CP et le ZF au profit des espèces comme *Andropogon ascinodis* C.B.CI., *Andropogon gayanus* Kunth., avec toutefois une régression beaucoup plus marquée dans le ZF. Des espèces ont fait leur apparition dans la liste des espèces productrices en 2009. Il s'agit de *Cochlospermum tinctorium* Perr. dans le CP et en 2010, *Cochlospermum tinctorium* Perr et *Schizachyrium sanguineum* (Retz) Alston dans le ZF. Certaines comme *Diheteropogon hagerupii* Hitchc. et *Spermacoce stachydea* DC. ont disparu en 2010 dans le ZF.

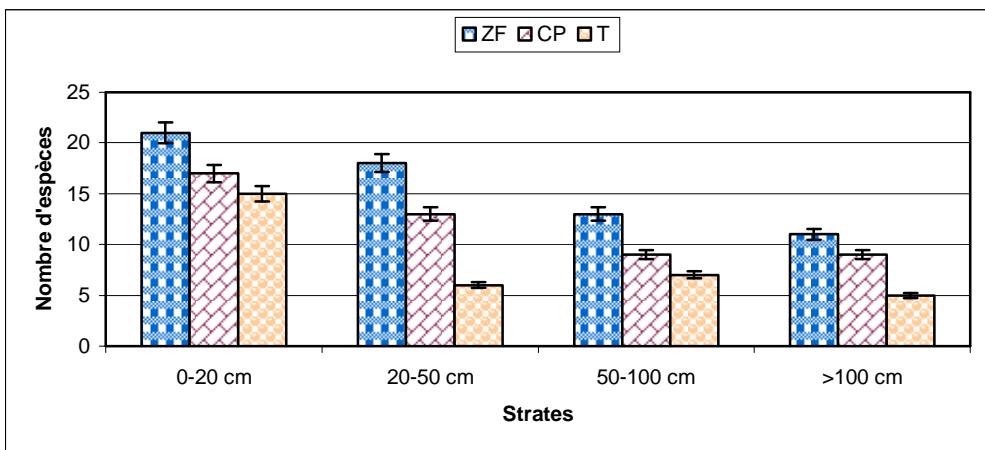
Tableau XXII : Dynamique des espèces productives entre 2008 et 2010

Traitements	ZF			CP			T		
	Période	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009
<i>Cochlospermum planchonii</i>	-	-	5,10	-	-	5,00	-	-	-
<i>Cochlospermum tinctorium</i>	-	-	-	-	6,40	6,30	-	-	-
<i>Andropogon ascinodis</i>	24,56	25,03	25,23	15,20	15,30	15,40	5,07	6,00	6,00
<i>Andropogon gayanus</i>	5,78	6,25	7,06	5,16	6,71	6,89	-	-	-
<i>Andropogon pseudapricus</i>	8,54	8,16	6,76	7,45	5,63	5,45	5,10	5,45	5,50
<i>Diheteropogon hagerupii</i>	5,84	5,02	-	5,09	5,67	5,00	5,10	5,12	5,15
<i>Loudetia simplex</i>	12,87	15,07	17,43	5,08	5,41	6,63	5,00	5,06	5,00
<i>Loudetia togoensis</i>	25,65	22,12	20,65	42,15	39,42	34,31	66,75	66,87	67,34
<i>Rhytachne gracilis</i>	5,00	5,00	5,23	-	-	-	5,00	-	-
<i>Spermacoce stachydea</i>	7,00	7,01	-	5,56	5,57	5,12	-	-	-
<i>Schizachyrium sanguineum</i>	-	-	5,08	-	-	5,00	-	-	-
Autres	4,76	6,34	7,46	15,31	9,89	4,90	7,98	11,50	11,01

T= Témoin, CP= Cordons pierreux, ZF= Zaï forestier

II.1.2.1.5- Variation verticale de la diversité floristique

L'étude de la variation de la diversité floristique verticale a été effectuée en novembre 2009. La végétation herbacée est plus diversifiée dans la première strate (0-20 cm) pour tous les traitements (**Fig. 46**). En outre le T reste le moins diversifié dans toutes les strates. L'analyse de variance révèle une différence significative ($p<0,05$) du nombre d'espèces des deux traitements (CP ; ZF) et le T dans toutes les strates. La strate 0-20 cm est dominée par des annuelles et des vivaces comme *Loudetia togoensis* (Pilger) C.E Hubbard, *Elionurus elegans* Kunth, *Sporobolus granularis* Mez, *Spermacoce stachydea* DC., *Brachiaria distichophylla* Stapf., *Cochlospermum planchonii* Hook.f. tandis que la strate > 100 cm est celle des vivaces telles que : *Andropogon gayanus* Kunth, *Andropogon ascinodis* C.B.CI. et *Loudetia arundinacea* Hochst. ex Steud.

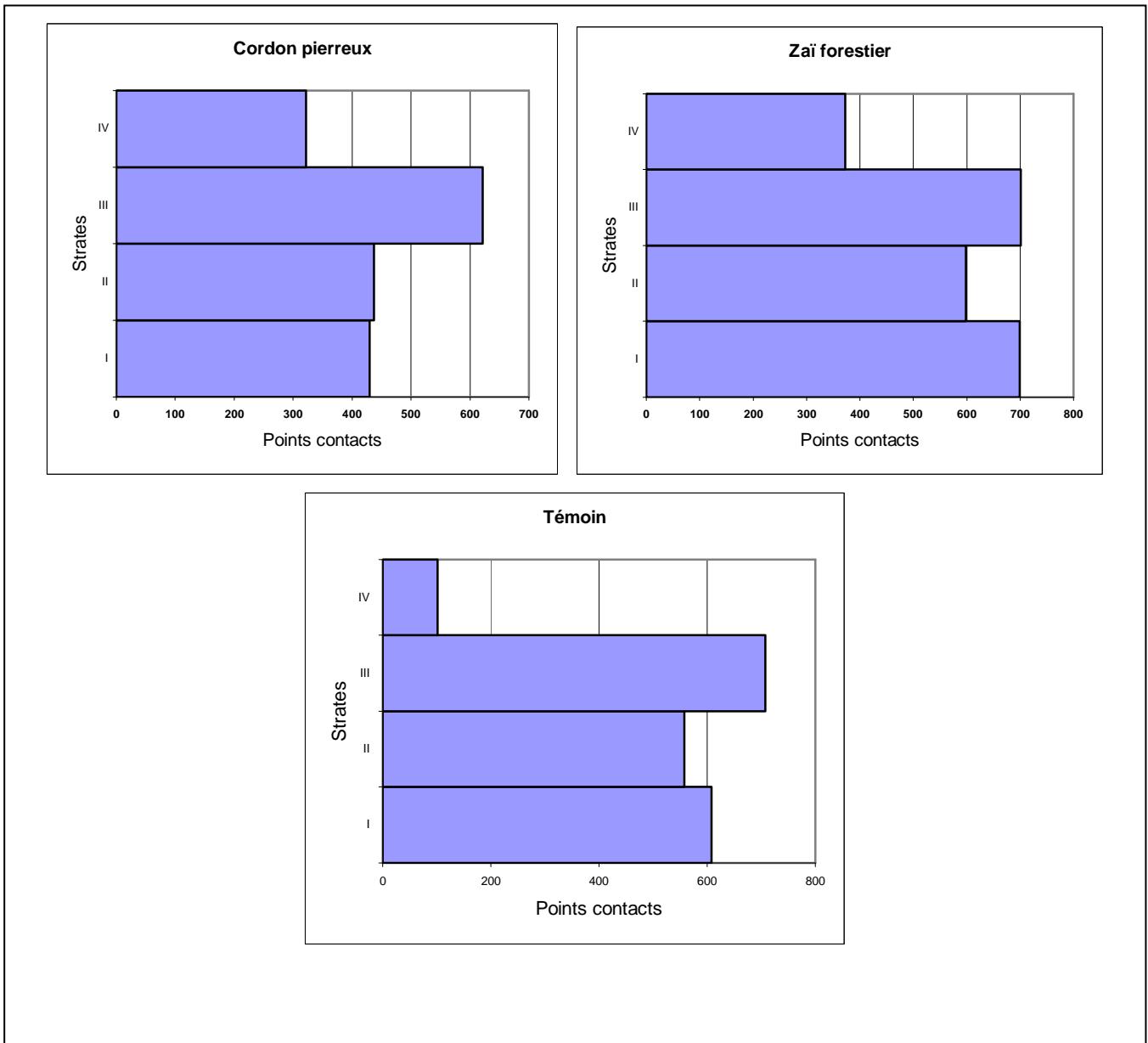


ZF = Zaï forestier, CP = Cordon pierreux, T = Témoin

Figure 46: Evolution verticale de la diversité floristique.

II.1.2.2- Structure verticale du couvert végétal

L'analyse des pyramides (Fig. 47) montre une différenciation de structure en fonction des strates et en fonction des traitements. Ainsi, la somme des nombres de points contacts est beaucoup plus élevée dans le ZF comparativement aux CP et au T. Les augmentations sont de l'ordre de 24% et de 17% respectivement par rapport aux CP et au T. Si l'on considère les strates individuellement, on constate que la strate III (50-100 cm) concentre plus de biovolumes dans tous les traitements. Elle représente à elle seule 30%, 34% et 36% des points contacts respectivement au niveau du ZF, des CP et du T. Le traitement ZF est le seul qui possède une pyramide à base élargie. La dernière strate (>100 cm) est la moins fournie en points contacts. Néanmoins les traitements ZF et CP enregistrent des valeurs très élevées par rapport au T.



I = 0-20 cm ; II = 20-50 cm ; III = 50-100 cm ; IV > 100 cm

Figure 47: Comparaison de la structure verticale des herbacées dans les différents traitements.

II.1.2.3- Production de biomasse au mètre carré

L'évaluation de la phytomasse montre au **tableau XXIII** que les aménagements ont permis une production hautement significative ($p= 0,004$) de matière sèche (MS) dès la première année. Cela s'est traduit par une augmentation de la production moyenne des parcelles aménagées en ZF de 128,25 g de MS/m² (45,48%) et de 70,87 g de MS/m² (25,13%) pour les CP en comparaison au T. La végétation s'est particulièrement développée aux pieds des CP et

dans les poquets de zaï (**Photo 4**). De l'observation générale, il ressort une variabilité inter annuelle de la production des parcelles aménagées liée à la pluviosité, à l'hétérogénéité et au faible recouvrement de l'unité. Ainsi entre 2008 et 2009 on a enregistré une hausse de la production en MS de 26,05 (106,89 g de MS/m²) pour le ZF et de 17,93% (63,28 g de MS/m²) pour le CP contre une baisse de 8,07% (22,75 g de MS/m²) pour le T. Les variations n'ont cependant pas été sensibles entre 2009 et 2010.

Tableau XXIII : Variations interannuelles de la production en matière sèche (g MS/m²)

Traitements	Année		
	2008	2009	2010
T	282c	259,25c	258,25c
CP	352,87b	416,15b	419,96b
ZF	410,25a	517,14a	522,24a
Probabilité	0,004	0,0001	0,0001
Signification	HS	HS	HS

ZF = Zaï forestier, CP = Cordon pierreux, T = Témoin; HS = Hautement significatif
Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.



Parcelle aménagée en cordons pierreux



Parcelle aménagée en zaï forestier



Parcelle témoin

Photo 4 : Effet des traitements sur la dynamique de la végétation

II.1.2.4- Capacité de charge

La capacité de charge a été évaluée à partir de la production de phytomasse. Il ressort que les aménagements ont induit une amélioration hautement significative ($P = 0,004$) de la capacité de charge moyenne de l'unité de végétation de 0,22 UBT pour le ZF et de 0,12 UBT pour le CP soit des augmentations respectives de 45,90% et de 25,37% par rapport au T (**Tab. XXIV**). Cette augmentation se poursuit en deuxième année où on a des hausses plus importantes de 0,45 UBT (100,48%) pour le ZF et 0,28 UBT (61,13%). Il apparaît en outre de grandes variations inter annuelles dans cette production de MS. Ainsi entre 2008 et 2009 les variations enregistrées sont de 0,19 UBT (26,05%) pour le ZF, 0,11 UBT (17,92%) pour le CP contre -0,04 UBT (-8,07%) pour le T. A partir de 2009, la production a tendance à la stagnation.

Tableau XXIV: Capacité de charge des différents traitements (UBT/ha/an).

Traitements	Année		
	2008	2009	2010
T	0,4944 ^c	0,4545 ^c	0,453 ^c
CP	0,6187 ^b	0,7296 ^b	0,736 ^b
ZF	0,7193 ^a	0,9067 ^a	0,916 ^a
Probabilité	0,004	0,0001	0,0001
Significative	HS	HS	HS

ZF = Zaï forestier, CP = Cordon pierreux, T = Témoin; HS = Hautement significatif
Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

II.2- Discussion

II.2.1- Flore ligneuse

De l'inventaire de la flore ligneuse, il ressort que les *Combretaceae* représentent la famille la plus riche en espèces sur toutes les parcelles. Ces résultats corroborent ceux de Kiéma (2007) qui trouvait que dans les jachères de la région, la même famille dominait. Yaméogo (2006) avait fait le même constat à Bougou dans la zone Nord soudanienne. A cet effet, Thiombiano

(1996) dit que la richesse floristique du Burkina Faso est en partie due aux *Combretaceae* dont la fréquence, la dominance et la diversité sont notables dans tout le pays.

Detarium microcarpum Guill. et Perr (46,5%) est l'espèce la plus fréquemment rencontrée. Sa fréquence varie de 29,66% dans le ZF à 47,92% dans le T. Ouédraogo (1997) et Ky-Dembélé (2011) qui ont travaillé sur la régénération du *Detarium microcarpum* ont abouti à la conclusion que le système racinaire de l'espèce à la fois pivotant et traçant favorisait l'émission de rejets et de drageons. C'est ce qui justifie sans doute la prédominance de l'espèce sur notre site d'étude. On constate une redistribution des familles, des espèces et le nombre d'individus entre 2007 et 2010. Ainsi on est passé de 3 familles dominantes en 2007 dans le T à 4 familles dominantes en 2010. Le nombre d'individus des *Caesalpiniaceae* a été réduit de 6% dans le CP tandis que dans le ZF on note une régression de 2% des *Mimosaceae* et une augmentation de 2% des *Combretaceae*. Certaines espèces apparaissent tandis que d'autres disparaissent. Les changements observés en termes de diversité floristique entre les aménagements et le T d'une part et d'autre part au sein du même aménagement au cours des quatre années, peuvent être imputés d'une part aux déchets animaux contenus dans la fumure organique et d'autre part aux animaux qui pâturent les parcelles et qui peuvent induire par zoothorie la dissémination et la germination de certaines essences ligneuses. En effet, la levée de la dormance des graines de bon nombre d'essences forestières (*Acacia sp.* et *Ziziphus sp.*) est parfois rendue possible grâce à l'action des sucs digestifs des animaux (Ganaba, 1994 ; Savadogo, 1994). Ces animaux peuvent aussi être à l'origine de l'élimination de beaucoup de jeunes plantes apparues suite aux conditions favorables créées par les aménagements (Toutain et Piot, 1980; Rakotoarimanana, 2008). En outre, le ZF et le CP ont contribué à accroître significativement la couverture du sol respectivement de 3,47% et de 1,83%. Cette couverture permet de réduire l'érosion du sol qui se produit de façon intense en début d'hivernage. De l'avis de Mazour et Roose (2002), la couverture végétale est un facteur important en aménagement des bassins versants. Elle assure une protection du sol contre l'effet de la pluie. La densité de la végétation a aussi un rôle important sur la réduction du ruissellement et du taux d'évaporation ainsi que sur l'augmentation de la capacité de rétention du sol.

L'abondance numérique des régénérations constitue une donnée de base d'appréciation de la reconstitution de la végétation naturelle. Des résultats de l'étude, il ressort que le ZF et le CP ont induit une amélioration significative de la régénération ligneuse. Ceci serait le résultat probable de l'amélioration des conditions du milieu.

D'une façon globale les histogrammes de la structure de la végétation ont la même allure et diminuent progressivement pendant que le diamètre augmente. Le principe dendrométrique de Piot (Doulkom, 2000) stipule que tout peuplement ligneux en équilibre ; c'est-à-dire ayant gardé une composition constante en dépit du rapport entre dépérissement et régénération continue, dessine un arc régulier de sorte que le nombre de tiges décroît d'une catégorie à l'autre, suivant un rapport constant. Partant de ce principe, l'observation des histogrammes par aménagement dégage une structure logique des classes de diamètre. Cette allure des classes est aussi conforme au premier type de dynamique structurale des populations des espèces du concept de Peters (1997). En effet, cet auteur distingue trois types de dynamique structurale des populations des espèces. Un premier type dit stable, caractérisé par un grand nombre d'individus de petites classes de dimension (sujets jeunes), un petit nombre de grands individus (sujets adultes) et une réduction régulière du nombre d'individus d'une classe de dimension à la suivante. Un second type dit en déclin, marqué par des effectifs réduits des petites classes et un plus grand nombre de tiges dans les classes intermédiaires, avec une distribution irrégulière des individus dans ces classes. Enfin, un troisième type qualifié de dégradé, marqué par un nombre important de gros sujets et un très faible nombre de jeunes individus. Ainsi le rapport entre le dépérissement et la régénération continue de la végétation plaide largement en faveur du second. La dynamique des savanes repose essentiellement sur la régénération naturelle qui assure la pérennité des espèces au sein de l'écosystème (Thiombiano, 1996).

II.2.2- Flore herbacée

Le nombre de familles, de genres et d'espèces augmente significativement avec les aménagements. En 2010, le ZF a permis un accroissement du nombre d'espèces de 59,26% et le CP de 9,26% par rapport au T. Ces résultats corroborent ceux trouvés en milieux sahéliens par certains auteurs (Kiéma et *al.*, 2001 ; Kiéma et *al.*, 2007 ; Sawadogo et *al.*, 2008) qui ont tous noté une amélioration de la diversité floristique avec les mesures anti-érosives. Les indices de similitude révèlent aussi une différence ($ISJ < 50\%$) de la végétation des différents traitements comparés deux à deux en 2008 et 2010. Cette différence s'explique d'une part par le fait que le CP et les ZF constituent des pièges pour les semences et d'autre part le fait qu'ils créent des conditions favorables à la germination de ces semences. La différence a été plus marquée entre le ZF et le T. En outre, ce traitement a permis une diversification plus élevée à tous les niveaux de stratification et un plus grand nombre d'herbacées vivaces se rencontre en son sein. A cet effet, Walter et Calvo (2009) qui ont travaillé en Espagne, notaient que

l'apport de matière organique permettait un accroissement de la diversité herbacée et de la biomasse. Somé (1996), ayant travaillé sur les jachères, concluait que la présence de certaines herbacées vivaces comme les *Andropogon spp.* était indicatrice de période de remise en culture, donc de l'amélioration de certaines propriétés de l'écosystème. Kiéma (2007) ajoute que la proportion des graminées pérennes et annuelles est un bon indicateur de la dynamique et de la capacité de reconstitution des milieux postculturaux. Le ZF permettrait donc une récupération rapide des sols dégradés. En matière de succession végétale sur le CP et surtout le ZF, une tendance au remplacement des annuelles par des pérennes se dégage. En effet, pendant la durée de l'expérimentation, le nombre d'espèces herbacées vivaces et annuelles a oscillé dans le CP et beaucoup plus dans le T. Par contre dans le ZF, les herbacées annuelles ont baissé continuellement de 70 à 50 espèces soit une baisse de 28,58% tandis que les vivaces ont augmenté de 26 à 36 espèces soit une hausse de 38,46%.

Concernant la contribution spécifique, quelques espèces végétales apparaissent régulièrement et en proportion plus importante. Les CP et les ZF favorisent surtout l'installation des espèces plus exigeantes en conformité avec l'augmentation de l'humidité du sol et des apports en sédiments. Ces espèces s'installent au détriment d'autres plus tolérantes à la sécheresse. Kiéma (2008) a fait le même constat dans la zone sahélienne du Burkina Faso avec les CP. Autre confirmation : lorsqu'on observe les différentes étapes de la reconstitution, on se rend compte que le nombre des espèces dominantes augmente dans le CP et le ZF comparativement au T. Ainsi, on passe de 5 espèces dominantes dans le T à 8 et 10 espèces respectivement dans le ZF et le CP.

La végétation herbacée constitue un élément important dans le processus de réhabilitation des écosystèmes. Elle est de par sa biomasse un stock de matière organique et d'éléments minéraux pour le sol. Ainsi, pour Garnier et Dajoz (2001), la végétation herbacée participe de l'ordre de 75 à 90% à la biomasse totale dans les savanes tropicales. En colonisant le milieu, cette végétation pionnière crée les conditions favorables à l'installation des autres espèces herbacées et ligneuses. De Blic et Somé (1997) ont montré que les andropogonées vivaces dès leur apparition en touffes isolées jouaient un rôle positif vis-à-vis de la structure et de la porosité de l'horizon superficiel. La résistance à la pénétration racinaire est plus faible et la porosité plus élevée du fait de la structure devenue fragmentaire de cet horizon. Entre 2008 et 2009 on a enregistré une hausse de la productivité en MS de 26,05% pour le ZF et de 17,93% pour le CP contre une baisse de 8,07% pour le T. Les variations n'ont cependant pas été sensibles entre 2009 et 2010. Le ZF a en outre enregistré le meilleur nombre de points de

contacts dans toutes les strates. Ce résultat est le reflet de la densité des poquets de zaï mais traduit également l'existence de conditions favorables au développement de la végétation. La strate III (50-100 cm) contient plus de biomasse comparativement aux autres strates. En effet, à cette période de la saison « septembre » les inflorescences bien développées des herbacées s'épanouissent dans cette strate.

Conclusion partielle

Les aménagements ont eu un impact positif sur la reconstitution de la végétation. A l'issue de cette étude, il s'est avéré que l'évolution des communautés végétales apparaît comme l'indicateur principal de la restauration progressive des espaces aménagés. En effet, sur les parcelles expérimentales, le bilan des trois années d'aménagement fait ressortir une amélioration de la composition floristique, du recouvrement et de la dynamique de la végétation ligneuse. Cette amélioration a toutefois été meilleure dans les parcelles aménagées en ZF que sur les parcelles CP et T. En ce qui concerne la diversité floristique, elle a varié plus significativement dans les parcelles aménagées que dans le témoin. Parmi les éléments d'appréciation quantitative des processus de régénération de la composante ligneuse, on retiendra que la densité des ligneux s'est améliorée et que la tendance évolutive est positive dans tous les aménagements avec une réduction significative du taux de mortalité.

Ce travail a permis également de montrer que les traitements ZF et CP offraient une amélioration significative de la diversité floristique, de la biomasse et un meilleur développement des espèces pérennes en zone sud soudanienne du Burkina Faso. Il atteste ainsi qu'avec l'effet du changement climatique et de l'accélération de la dégradation des sols, cette zone qui n'était pas reconnue comme une zone d'applicabilité du zaï (Zombré, 2003), est devenue de plus en plus réceptive à l'utilisation de la technique, notamment sur les sols ferrugineux tropicaux lessivés. Ce travail pourrait ainsi être un atout pour la restauration des espaces forestiers dans la zone et une clef pour une exploitation durable des zones pastorales.

DISCUSSION GENERALE

L'étude descriptive a révélé que notre site d'étude était impropre à l'infiltration avec la dominance des croûtes érodées et des surfaces grossières. Or, comme l'ont signalé Dembélé et Somé (1991) le sol constitue le réservoir où les plantes puisent l'eau et les éléments minéraux nécessaires à leurs besoins. La capacité de ce réservoir dépend non seulement des caractéristiques du sol, mais aussi de la profondeur exploitable par les racines d'où la notion de réserve utile racinaire (RUR). Après trois années d'expérimentation, les résultats permettent d'affirmer que les CES/DRS étudiés constituent une solution pour améliorer ce facteur limitant à la production végétale.

La matière organique a joué un rôle capital dans la réduction de ce facteur limitant. En effet, elle améliore la structure du sol et la rétention de l'eau permettant ainsi de réduire l'impact néfaste des périodes sèches sur les cultures. Les apports organiques améliorent la structure et la porosité du sol, ce qui favorise l'infiltration (Pieri, 1989 ; Ouedraogo et al. 2001). En outre, les ressources organiques augmentent la capacité de rétention d'eau du sol (Ouattara et al., 1994) et retarde le déclenchement du ruissellement dans les parcelles avec fumure organique par rapport aux parcelles sans apport organique.

Les meilleures influences des traitements ZA et ZACP seraient liées à l'apport du fumier dans les poquets. En effet, Selon Bationo et Mokwunye (1991) et Stroosnijder (1996), la pauvreté des sols en nutriments et l'infiltration insuffisante sont les principaux facteurs limitant la croissance et le développement des cultures dans les pays soudano sahéliens. Ce qui signifie que lorsque les niveaux de ces facteurs sont améliorés, cela entraîne également une amélioration de la croissance et du développement des plants. Nous pouvons ainsi déduire que les traitements ZA et ZACP permettent d'améliorer la disponibilité des éléments nutritifs et l'eau dans le sol. L'apport de la matière organique dans le sol améliore les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et crée un environnement propice à la croissance et au développement des plants de sorgho. L'activité biologique a comme support énergétique la matière organique (Chaussod et al., 1986 ; Somé et al., 2007). Dès lors, les faibles teneurs en matière organique observées sur le T limitent considérablement le développement des micro-organismes ; ces derniers ne bénéficiant pas de source d'énergie suffisante. Mando (1997) indique que l'apport de matière organique dans les poquets entraîne un regain de l'activité biologique du sol; ce qui favorise la croissance des plantules qui profitent alors de la minéralisation de la fumure organique apportée, de la perforation de la croûte par les termites et de l'amélioration de la structure du sol. Ainsi, la matière organique contribue de différentes

manières à l'amélioration de la productivité des terres. Selon Roose et *al.* (1999), le zaï permet de concentrer l'humidité et les nutriments sous les plants de céréale dans les poquets. Cela favorise une bonne alimentation en eau et en éléments minéraux des plants et leur permet d'avoir une meilleure croissance. La faible influence des CP sur la croissance et le développement des plants de sorgho, montre que la disponibilité de l'eau dans le sol pour l'alimentation des plants, n'a pas été un facteur limitant de la croissance et du développement des plants. En effet, l'installation des CP dans les parcelles réduit le ruissellement, favorise l'infiltration de l'eau et améliore le bilan hydrique du sol (Maré, 2002; Barro et *al.*, 2005). Selon Bielders et *al.* (2002) l'apport de la fumure organique est une source d'énergie et d'aliments pour les communautés microbiennes du sol ; ce qui favorise la disponibilité en éléments nutritifs. L'agrégation des éléments du sol, la décomposition et la stabilisation de la matière organique du sol, et l'activité biologique du sol sont liées (Mando, 1997). La formation et la stabilité des agrégats dépendent de nombreux facteurs dont les racines, la faune, les micro-organismes, les liants minéraux et des variables environnementales comme les cycles d'humectation-dessiccation et le feu (Six et *al.* 2004 ; Lahmar et Ruellan, 2007). Des expérimentations de longue durée ont montré que des apports de fumier bien décomposé (C/N voisin de 10) permettaient d'éviter, ou au moins de limiter, l'acidification, d'augmenter les niveaux des rendements, de retrouver l'efficience des engrains. Pour toutes ces raisons, la matière organique joue, en Afrique soudano-sahélienne, un rôle crucial dans le maintien de la fertilité des sols, tant du point de vue chimique que physique. Il est essentiel de maintenir le taux de matière organique au dessus de certains seuils, qu'on peut fixer autour de 1% (Delville et *al.* 1991).

Tout ceci montre que la disponibilité des éléments nutritifs a été le facteur essentiel, à l'origine des effets positifs induits par les traitements ZA et ZACP sur la croissance des plants de sorgho. On note en outre, une augmentation du pH avec les fumures organiques comparées toujours au T. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Sedogo (1993) et Assimi et *al.* (2000a et 2000b) qui ont expliqué la baisse du pH par la désaturation du complexe d'échange cationique (CEC) avec comme conséquence une augmentation progressive du taux d'aluminium échangeable dans la solution du sol. Le fumier, en augmentant le stock organique et la CEC, s'opposerait à la lixiviation des cations. Les résultats confirment donc la nécessité des apports de substrats organiques pour maintenir, voire relever le niveau de la matière organique du sol en améliorant sa fertilité (Sedogo, 1993 ; Bacyé et *al.*, 1998 ; Zombré, 2006). A ce propos, Roose et *al.* (2011) signalent que pour pouvoir restaurer

rapidement les terres dégradées, il faut prévoir une gestion adéquate des eaux de surface (CP, Diguettes...), rouvrir la macroporosité et la stabiliser par le travail du sol et l'enfouissement de la matière organique, revitaliser l'horizon de surface par l'apport de matière organique humifiée, corriger le pH du sol et nourrir les plantes.

Les mesures antiérosives ont eu un impact très positif sur le développement et la production du sorgho, notamment le ZA et le ZACP. La production en phytomasse a également été meilleure dans le ZF. Cette différence de croissance et de productivité s'expliquerait par les valeurs plus élevées des différents paramètres chimiques pour ces traitements ; en particulier le Pd et le Ka. Le phosphore est l'un des éléments nutritifs essentiels pour la croissance et le développement des végétaux (Compaoré et *al.*, 2001 ; Guivarch, 2001). Des plantes déficientes en phosphore montrent un retard de croissance. Ainsi, pour que les plantes absorbent les quantités de phosphore nécessaires afin de donner de bons rendements, la concentration en phosphore de la solution du sol en contact avec les racines doit être maintenue pendant tout le cycle de croissance. Les techniques CES/DRS comme le zaï permettent de relever le niveau des rendements des cultures et de valoriser les terres abandonnées par suite de l'érosion avec l'apport localisé de fumure organique (Sawadogo et *al.* 2008 ; Girmay et *al.*, 2009). De même, le potassium est un élément important de la fertilisation minérale de la plante et constitue avec l'azote et le phosphore, les trois éléments de base. Il intervient comme régulateur des fonctions dans l'assimilation chlorophyllienne. Il permet une meilleure économie de l'eau dans les tissus et leur donne une plus grande rigidité. C'est l'élément d'équilibre, de santé et de qualité (Gros, 1974).

Entre 2007 et 2010, les paramètres suivis dans l'évaluation de la végétation à savoir la richesse floristique, le recouvrement, la production fourragère et la contribution spécifique se sont améliorés dans les aménagements ZF et CP. Cette amélioration à déjà été prouvée par Hien (1995), Kiéma et *al.* (2008) qui l'ont attribuée à l'amélioration de l'infiltration et de l'enrichissement du sol en sédiments et en matières organiques. Il est apparu cependant de grandes variations inter annuelles qui pourraient être liées à la pluviosité et à l'impact de l'activité pastorale ; le site n'étant pas protégé mais aussi au mécanisme de la succession végétale qui induit un remaniement floristique. En effet, selon Zoungrana (1991b), on distingue dans le domaine nord soudanien du Burkina Faso deux phases distinctes dans la recolonisation des jachères : la phase I, de 1 à 10 ans après l'abandon des cultures,

caractérisée par une intense activité de remaniement floristique. La phase II, au delà de 10 ans, caractérisée par une stabilisation du nombre d'espèces. Pour Kazakou (2006) en début de succession on trouve des espèces dont les traits sont associés à la stratégie « rudérale tolérante au stress », c'est-à-dire des espèces avec une croissance rapide, une dispersion efficace et un fort investissement dans la reproduction. En revanche, les espèces de fin de succession ont des traits associés à la stratégie « compétitrice tolérante au stress », avec une vitesse de croissance lente, une utilisation des ressources efficace et un faible investissement dans la reproduction. L'amélioration du bilan hydrique du sol par les aménagements a sans doute permis aussi de créer les conditions favorables à la germination des graines. Ce qui explique le taux de variation plus élevé dans les parcelles aménagées.

La végétation s'est particulièrement développée au pied des CP et dans les poquets de ZF. Cette hétérogénéité de la répartition de la végétation dans ces aménagements nous permet de dire avec Hien (1997) que l'amont des CP et les poquets de ZF accumulent les eaux de ruissellement et retiennent les semences provenant de l'espace qui sépare chaque ouvrage de celui situé immédiatement vers l'amont. Ces endroits offrent en premier lieu les conditions de germination des semences en début d'hivernage et peuvent à ce titre être considérés comme le « nid de germination ». L'aval des CP qui précède immédiatement peut en revanche bénéficier en profondeur, des écoulements hypodermiques latéraux liés à l'accumulation de l'eau en amont. Il est donc plus favorable aux végétaux pérennes à enracinement profond. Les végétaux ont un effet positif sur la stabilité de la structure du sol. La combinaison de la végétation et de la présence de racines dans les couches supérieures du sol, stimule l'infiltration de l'eau. Par conséquent, le taux de pénétration de l'eau dans un sol nu est moins bon que dans un sol sous couvert végétal.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

La forêt classée de Kuinima qui a abrité cette étude se situe dans la zone Sud soudanienne, à l’Ouest du Burkina Faso. Dans cette étude, la logique a été de faire un diagnostic de l’état de dégradation du sol et de procéder à un test de réhabilitation aussi bien en milieu forestier qu’en situation agroforestière.

Du diagnostic, il s’est avéré que nous avons travaillé sur des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés, avec une structure présentant des affleurements de la roche mère (cuirasse) par endroits. La charge en gravillon est assez importante en surface. Ils sont dans une grande majorité, défavorables à l’infiltration. Ce sont des sols pauvres en matière organique, en phosphore assimilable, en potassium disponible et en bases échangeables. Ces sols apparaissent donc potentiellement pauvres en nutriments minéraux et organiques essentiels pour la croissance et le développement des plantes. Ainsi, de l’inventaire, on a constaté que la densité des ligneux était faible et la régénération mauvaise sur les parcelles forestières. Néanmoins, la tendance évolutive était très positive dans toutes les parcelles. La faible densité des ligneux et leur mauvaise régénération sur le dispositif à vocation forestière montraient donc la nécessité de poursuivre l’étude par l’implantation des différentes techniques de conservation des eaux et des sols et leur suivi.

Après trois années d’aménagement, le bilan est satisfaisant. En effet, il ressort des résultats obtenus, que le ZF, le ZACP, le ZA et le CP du dispositif agroforestier ont permis de réduire significativement les teneurs en sables grossiers et d’améliorer significativement les teneurs du sol en limons. Les traitements CP, ZF, ZA et ZACP ont entraîné également l’amélioration de la teneur du sol en MO, notamment dans les poquets de zaï et partant celle des autres paramètres tels que le N, la CEC, les BE, le Pa, le Kd, le S/T et le pHau. L’activité biologique qui est un bon indicateur de la fertilité du sol, a aussi été améliorée significativement par le ZACP, le ZF et le CP. Une hypothèse a été évoquée pour expliquer ces résultats ; l’apport du fumier et le travail du sol. Cette même hypothèse expliquerait le fait que le zaï ait permis d’améliorer la RU et le coefficient d’infiltration du sol.

En outre, l’étude montre que les traitements ZA et ZACP induisent une amélioration significative de la croissance du sorgho par rapport au T. Cela s’est traduit également par des rendements en grains et en pailles du sorgho significativement différents du T dans le ZA et le ZACP. L’étude montre ainsi d’une part que l’association de la fumure organique est une condition sine qua non pour une gestion efficiente de la fertilité des sols des parcelles

aménagées et d'autre part que pendant la période d'étude, le facteur limitant de la productivité du sol a plus été sa fertilité et non l'insuffisance d'eau.

Les aménagements ont aussi eu un impact positif sur la reconstitution de la végétation. A l'issue de cette étude, il s'est avéré que l'évolution des communautés végétales apparaît comme l'indicateur principal de la réhabilitation progressive des espaces aménagés. En effet, sur les parcelles expérimentales, le bilan des trois années d'aménagement fait ressortir une amélioration de la composition floristique, du recouvrement et de la dynamique de la végétation ligneuse. Cette amélioration a toutefois été meilleure dans les parcelles aménagées en ZF que sur les parcelles CP et T. En ce qui concerne la diversité floristique, elle a varié plus significativement dans les parcelles aménagées que dans le témoin. Parmi les éléments d'appréciation quantitative des processus de régénération de la composante ligneuse, on retient que la densité des ligneux s'est améliorée et que la tendance évolutive est positive dans tous les aménagements avec une réduction significative du taux de mortalité.

Ce travail a permis également de montrer que les traitements ZF et CP offraient une amélioration significative de la diversité floristique, de la biomasse et un meilleur développement des espèces pérennes en zone Sud soudanienne du Burkina Faso. La réhabilitation conduit donc l'écosystème sur une trajectoire d'évolution progressive. L'étude montre en outre que le ZA et le ZACP constituent des aménagements qui sont financièrement rentables. Ce travail atteste ainsi qu'avec l'effet du changement climatique et de l'accélération de la dégradation des sols, cette zone qui n'était pas reconnue comme une zone d'applicabilité du zaï, est devenue de plus en plus réceptive à l'utilisation de la technique. Ce travail pourrait ainsi être un atout pour la réhabilitation des espaces forestiers dans la zone et une clef pour une exploitation durable des zones pastorales et agricoles.

A la suite de ce travail d'autres recherches méritent d'être menées pour mieux comprendre les processus de réhabilitation des écosystèmes par l'application des techniques de conservation des eaux et des sols. Ces recherches pourront à court, moyen et long termes s'orienter sur :

- l'étude de la porosité qui joue un rôle capital dans la structure du sol et par conséquent sa perméabilité,

- l'étude de la macrofaune qui regroupe l'ensemble des ingénieurs dans le remaniement du sol,
- le test d'autres techniques de conservation des eaux et des sols qui sont susceptibles d'être appliquées dans notre zone d'étude telles que les bandes enherbées, le paillage, la mise en défens et le sous-solage,
- l'évaluation après cinq ans d'application de l'effectivité de la réhabilitation du sol dans les parcelles agroforestières,
- le suivi de la dynamique de la végétation dans les parcelles forestières pour bien appréhender la succession végétale déjà amorcée.

BIBLIOGRAPHIE

Amani G. Y., 2002. *Impact des aménagements anti-érosifs sur la régénération naturelle du peuplement ligneux de la zone subsaharienne de Tougouri* (Burkina Faso). Mémoire inspectorat Eaux et Forêts, INERA-ENEF, 61 p.

Arbonnier M., 2009. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. 3e édition. Versailles : éditions Quae, 573 p.

Ambouta K., 1984. *Contribution à l'édaphologie de la brousse tigrée de l'Ouest nigérien.* Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Nancy I, 85 p.

Akpo L. E, Grouzis M., 2004. Interaction arbre/herbe en bioclimat semi-aride : influence de la pâture. *Sécheresse*, 15(3): 253-261.

Asimi S., 2009. *Influence des modes de gestion de la fertilité des sols sur l'activité microbienne dans un système de cultures de longue durée au Burkina Faso.* Thèse de Doctorat d'Etat. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso/ Institut du Développement Rural, 159 p.

Asimi S., Glaninazzi-Pearson V., Sedogo P. M., Assa A., 2000b. Influence de différents types de fumures sur la nodulation et la mycorhization des plantes de niébé dans une rotation de cultures sorgho-niébé. *Science et technique, Sciences naturelles et agronomie*, 24 (1): 21-32.

Asimi S., Sedogo P. M., Assa A., Lombo F., 2000a. Influence des modes de gestion des terres sur la respiration du sol et le carbone de la biomasse microbienne, *Science et technique, Sciences naturelles et agronomie*, 24 (1): 42-53.

Bacyé B., Moreau R., Feller C., 1998. Décomposition d'une poudrette de fumier incorporée dans un sol sableux de versant et un sol argilo-limoneux de bas-fond en milieu soudano-sahélien. *Etude et Gestion des Sols*, (5), 2 : 83-92.

Baggnian I., 2006. *Effet de différents traitements organiques sur la croissance du maïs et l'activité de la macrofaune en zone soudanienne.* Mémoire de fin de cycle, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut du Développement Rural, 101 p.

Baize D., Jabiol B., 1995. Guide pour la description des sols. INRA, Paris, 375p.

Barro A., Zougmoré R., Taonda J-B. S., 2005. Mécanisation de la technique du *zai* manuel en zone semi-aride. *Cahiers Agricultures*, 14(6) : 549-559.

Barry J. P., Boudet G., Bourgeot A., Celles J. C., Coulibaly A. M., Leprun J. C., Maniere R., 1983. Etude des potentialités pastorales et de leur évolution en milieu sahélien au Mali. ACC-CRIZA-LAT, 213 p.

Bationo A., Mokwunye A. U., 1991. Alleviating soil fertility constraints to increased crop production in West Africa. *Fert. Res.*, 29 : 95-115.

Baumer M., 1987. Agroforesterie et Désertification. ICRAF, CTA, Pays-Bas, 260 p.

Bielaers C. L., Michels K., Bationo A., 2002. On-farm evaluation of ridging and residue management options in Sahelian millet–cowpea intercrop. 1. Soil quality changes. *Soil Use Manage*, 18 : 216–222.

Benbrahim K. F., Ismaili M., Benbrahim S. F., Tribak A., 2004. Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation : impact du phénomène au Maroc. *Sécheresse*, 15(4) : 307-20.

Blamah J., 2004. *Impact des aménagements anti-érosifs sur les productions fourragères et le recyclage des nutriments au Sahel.* Mémoire de fin de cycle, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso/Institut du Développement Rural, 98 p.

Bonnet X., Menetrey M., Lattion R., Ulrich D., 1999. La désertification et la famine en Afrique : facteurs humains, facteurs naturels. Universités de Lausanne, 23 p.

Boudet G., 1991. Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. Ministère de la coopération et du développement : Institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux (IEMVT); Collection manuels et précis d'élevage (deuxième édition), France, 266 p.

Bousquet E., 1997. *Réflexion sur la modélisation de divers phénomènes de dégradation des terres d'une région du Burkina Faso (Région du Yatenga).* Mémoire de DEA. Ecole Supérieure d'Agronomie de Montpellier, 60p.

BUNASOLS 1987: Méthodes d'analyses physiques et chimiques des sols, eaux et plantes, document technique n°3, BUNASOLS Ouagadougou (BF), 159 p.

BUNASOLS, 1989. Méthodologie de prospection pédologique. Document Technique n°5. BUNASOLS Ouagadougou (BF), 121 p.

BUNASOLS, 1990. Manuel d'évaluation des terres. Document technique n°6. BUNASOLS Ouagadougou (BF), 118 p.

BUNASOLS, 1985. Etat de connaissance de la fertilité des sols du Burkina Faso. Document technique n°1, BUNASOLS Ouagadougou (BF), 47p.

Cairns, J. 2002. Rationale for restoration. in : Perrow M. R. and Davy A. J., (Eds.), *Principles of restoration*: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, pp : 10–23.

Casenave A., Valentin C., 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Collection didactique, ORSTOM, Paris, France, 230p.

Cerdan O., Desprats J. F., Bourguignon A., Isac J. L., 2004. Modélisation hydrologique du bassin versant de la Boyne (Hérault). Apport de la très haute résolution pour la gestion du risque inondation. Rapport final, Bureau de Recherche Géographique et Minière (RGM), 49 P.

César J., 1992. *Etude de la production biologique des savanes de Côte-d'Ivoire et son utilisation par l'homme. Biomasse, valeur pastorale et production fourragère.* Thèse de Doctorat de l'Université de Paris VI, Sciences naturelles, 642 p.

Charreau C., Nicou R., 1971. Amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest africaine et ses incidences agronomiques. *Agro. Trop.*, 26 : 209-255.

Chaussod R., Nicolardot B., Catroux G., 1986. Mesure en routine de la biomasse microbienne des sols par la méthode de fumigation au chloroforme. *Science du sol*, 2 : 201-211.

Chaussod R., Zuvia M., Breuil M-C., Hetier J-M., 1992. Biomasse microbienne et statut organique des sols tropicaux: exemple d'un sol Vénézuélien des Llanos sous différents systèmes de culture. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 1: 59-67.

Chaussod R., 1996. La qualité biologique des sols, Forum « Le sol, un patrimoine menacé ? » Paris, numéro spécial. pp. 261-277.

Choi Y. D., 2007. Restoration Ecology to the Future: A Call for New Paradigm. *Restoration Ecology*, 15(2): 351–353.

Choi Y. D., 2004. Theories for ecological restoration in changing environment: toward “futuristic” restoration. *Ecological Research*, 19:75–81.

CILSS, 2010. Gestion durable des terres au Burkina Faso : Faire revivre nos sols avec les savoirs et les savoir faire paysans dans la zone centre du Burkina. Ouagadougou, 63 p.

Compaoré E., Fardeau C. F., Morel J. L., Sedogo M. P., 2001. Le phosphore biodisponible des sols : une des clés de l'agriculture durable en Afrique de l'Ouest. *Cahiers Agricultures*, 10 : 81-85.

CNUED, 1992. Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED) : Convention sur les changements climatiques, Convention sur la biodiversité,

Agenda 21, Déclaration de Rio, Accord sur les forêts, Conférence sur les océans.
<http://www.agora21.org/institutions.html>.

Connell J. M., Slatyer R. O., 1977. Mecanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *Am. Nat.*, 111: 1119-1144.

Coulibaly K., 2008. *Effet des modes de gestion de la fumure et de l'utilisation des pesticides sur les paramètres physicochimiques et biologiques du sol et la pollution des eaux de ruissellement*. Mémoire de DEA, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso/ Institut du Développement Rural. 59p.

C.P.C.S, 1967. Classification des sols, Travaux c.p.c.s., 1963-1967, Paris–Grignon. 96 p.

D'Herbès J. M., Ambouta K., Peltier R., 1995. Fonctionnement et gestion des écosystèmes contractés sahéliens. Ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement, ORSTOM, CIRAD. Éd. John Libbey EUROTEXT. 274 p.

Daget P., Poissonet J., 1971. Une méthode d'analyse phytosociologie des prairies. Critères d'application. *Ann. Agron.*, 22 (1) : 5-41

Dakio L., 2000. *Contribution à l'analyse des critères de durabilité du zai dans le Yatenga : Effets du zai sur le niveau organique et minéral des sols et sur les rendements du sorgho dans le Yatenga et le Zandoma*. Mémoire de fin de cycle, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso/ Institut du Développement Rural. 96 p.

Davis M. A., 2000. “Restoration”—a misnomer? *Science* 287:1203.

De Blic Ph., Somé N. A., 1997. Etat structural d'horizons superficiels sableux sous culture ou jachère herbacée en Afrique de l'Ouest (Burkina Faso). *Etude Gest. Sols*, 4(1): 17-24.

de Blic Ph., 1998. Organisation structurale et comportement physique du sol sous l'effet de la culture et de la jachère, ORSTOM, Burkina Faso, 26 p.

Delaite B., Pastor M., 1997. Manuel des techniques de conservation des eaux et des sols (CES) au Sahel edition PRECONS. Programme régional de reboisement et de conservation des sols au sahel, 345 p.

Delville Ph. L., Moreau D., Rabot C., 1991. Le point...produire durablement dans les pays du Sahel-Guide pour le diagnostic et le conseil agronomique. GRET, 155 p.

Dembele K., 2006. *Contribution à l'étude de l'amélioration des pâturages naturels par l'introduction de légumineuses fourragères.* Mémoire de fin de cycle, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso/Institut du Développement Rural, 96 p.

Dembélé Y., Somé L., 1991. Propriétées hydraulodynamiques des principaux types de sol du Burkina Faso in. Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone. IAHS Publ. n° 199. pp. 217-227.

Devineau J. L., 1990. Contribution à la cartographie des états de surface d'un bassin versant sahélien et au suivi de leur évolution - Recouvrement de la végétation et phytomasse herbacée- *In: Images satellites et milieux terrestres en région arides et tropicales. ORSTOM, Colloques et séminaires* ; Journées Télédétection de Bondy ; 14 au 17 novembre 1988: pp. 69-78.

Diallo H., Bamba I., Barima. Y. S. S., Visser M., Ballo A., Mama A., Vranken I., Maiga M., Bogaert J., 2011. Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé). *Sécheresse*, 22(3) : 97–107.

Diallo L., 2002. *Effet de l'engrais azoté et du fumier sur le rendement du maïs.* Mémoire de fin de cycle, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso/ Institut du Développement Rural, 53 p.

Doamba S. M. F., Nacro H. B., Sanon A., Sedogo P. M., 2011. Effet des cordons pierreux sur l'activité biologique d'un sol ferrugineux tropical lessivé (Province du Kouritenga au Burkina Faso). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5(1): 304-313.

Dommergues Y., 1960. La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans le sol. *Agronomie tropicale*, 15(1) : 55-60.

Doulkoum G., 2000. *Problématique des espaces agro-sylvo-pastoraux dans la province du Bam : le cas de la relique de la brousse tigrée de Tan Lili. Evaluation des potentialités pastorales.* Mémoire de fin de cycle, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso/Institut du Développement Rural, 113 p.

Duchaufour Ph., 1997. Abrégé de pédologie-sol, Végétation, Environnement. 5è édition. Masson. 291 p.

El Garouani A., Merzouk A., Jabrane R. et Boussema M. R., 2005. Analyse spatiale de l'érosion en nappe et de l'infiltrabilité des sols dans le pré-Rif marocain. *Télédétection*, 5(1-2-3) : 69-80.

FAO, 1990. Aménagement et exploitation des forêts pour le ravitaillement de Ouagadougou en bois de feu, Burkina Faso : Conclusion et recommandation du projet : PNUD/FAO/BKF/85/011, rapport terminal. 89 p.

FAO, 1994. Directive pour la description des sols. 3^{ème} édit. (révisée) FAO-Rome. Italy. 73 p.

FAO, 2003. Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne. Rome 2003. 21 p. <http://www.fao.org/docrep/006/X9681F/X9681F00.HTM> accédé le 29/02/08.

Fardoux J., Fernandes P., Niane-Badiane A., Chotte J-L., 2000. Effet du séchage d'échantillons d'un sol ferrugineux tropical sur la détermination de la biomasse microbienne-Comparaison de deux méthodes biocidales de référence. *Étude et gestion des sols*, 7(4) : 385-394.

Feller C., 1994. La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1:1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. Edition 1995 ORSTOM, PARIS, 653 p.

Fontes J., Guinko S., 1995. Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Note explicative. Toulouse, Ministère de la coopération française, 65 p.

Fosu M., Kühne R. F., Vlek P. L. G., 2003. Recovery of cover-crop-N in the soil-plant system in the Guinea savannah zone of Ghana. *Biol. Fertil. Soils*, 39 : 117-122.

Gampine D., Boussim I. J., 1995. Etude des contraintes à la régénération naturelle de quelques espèces locales de *Combretaceae* et *Caesalpiniaceae* au Burkina Faso. *Etude sur la flore et la végétation du Burkina Faso et des pays avoisinants*, 2 : 33-41.

Ganaba S., 1994. *Rôle des structures racinaires dans la dynamique du peuplement ligneux de la région de la mare d'Oursi (Burkina Faso) entre 1980 et 1992.* Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou, 144 p.

Ganaba S., Guinko S., 1995. Etat actuel et dynamique du peuplement ligneux de la région de la Mare d'Oursi (Burkina Faso), *Etude sur la flore et la végétation du Burkina Faso et des pays avoisinants*, 2 : 3-14.

Ganaba S., 2005. Impact des aménagements de conservation des eaux et des sols sur la régénération des ressources ligneuses en zone sahélienne et nord soudanienne du Burkina Faso. *Vertigo*, 6 (2): 126-140.

Ganaba S., Bayala J., Yaméogo K. M., Yaméogo J. T., Ouadba J. M., 2006. Impact des aménagements anti-érosifs sur la phénologie, la transpiration et la productivité fruitière ligneuses en zone subsahélienne du Burkina Faso. *Etude sur la flore et la végétation du Burkina Faso et des pays avoisinants*, 10 : 49-62.

Ganaba S., Kiema A., 2004. Impact des aménagements anti-érosifs sur la diversité biologique végétale en région sahélienne du Burkina Faso. INERA, CRREA Sahel, 50 p.

Ganaba S., 2008. *Caractérisation, utilisations, tests de restauration et gestion de la végétation ligneuse au Sahel, Burkina Faso.* Thèse de doctorat d'état, Biologie et écologie végétales, Université Cheick Anta Diop (Sénégal), 287 p.

Garnier L. K. M., Dajoz I., 2001. The influence of fire on the demography of a dominant grass species of West African savannas, *Hyparrhenia diplandra*. *J. Ecol.*, 89(2): 200-208.

Geert S., 1997. Wind erosion in the Sahelian zone of Niger: Processus, models, and control techniques. *Tropical resource papers n°15*, Wageningen Agricultural University, 151 p.

Gicheru P., Gachene C., Mbuvi J., Mare E., 2004. Effets of soil management practices and tillage systems on surface soil water conservation and crust formation on a sandy loam in semi-arid Kenya. *Soil and Tillage Research*, 75 :173-184.

Girmay G., Mitiku H., Singh B. R., 2009. Agronomic and economic performance of reservoir sediment for rehabilitating degraded soils in Northern Ethiopia. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 84 : 23-38.

Gomgnimbou P. K. A., Savadogo W. P., Nianogo J. A., Millogo-Rasolodimby J., 2010. Pratiques agricoles et perceptions paysannes des impacts environnementaux de la cotoniculture dans la province de la KOMPIENGA (Burkina Faso). *Sciences & Nature*, 7(2) : 165 – 175.

Gros A., 1974. Engrais. Guide pratique de la fertilisation. 6ème édition, La Maison Rustique. Paris, 436 p.

Grouzis M., 1988. Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi), ORSTOM, Paris, 336 p.

Guillobez S., Somé L., Taonda J. B., 1992. Le milieu physique du Burkina Faso et ses contraintes. Comité technique national-INERA/ESFIMA, Ouagadougou, Burkina Faso, 16 p.

Guinko S., 1984. *Végétation de la Haute-Volta.* Thèse de doctorat d'Etat. Université Bordeaux III, Tome1, 318 p.

Guivarch A., 2001. *Valeur fertilisante à court terme du phosphore des boues de stations d'épuration urbaines.* Thèse de doctorat, Spécialité Sciences Agronomiques, Institut National Polytechnique de Lorraine. 268 p.

Hakizimana P., Masharabu T., Bangirinama F., Habonimana B., Bogaert J., 2011. Analyse du rôle de la biodiversité végétale des forêts de Kigwena et de Rumonge au Burundi. *Tropicultura*, 29(1) : 28-38.

Hien F. G., 1995. La régénération de l'espace sylvo-pastoral 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 n°7, université de Wageningen, 194 p.

Hien G. F., 1997. Dynamique et productivité des ligneux dans la régénération des terres dégradées en milieu Soudano-sahélien. *Rev. Sci. Tech.*, 22(2): 36-44.

Hien M. B., 2000. *Etude des causes de mortalité de Pterocarpus lucens Lepr. en zone subsahélienne du Burkina Faso.* Mémoire de fin d'études, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso/Institut du Développement Rural, 70 p.

Ichaou A., 2000. *Dynamique et productivité des structures forestières contractées des plateaux de l'Ouest Nigérien.* Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier de Toulouse III. Spécialité : Ecologie Végétale Tropicale. 231 p.

I.N.S.D., 2007. Résultats provisoires du recensement général de la population et de l'habitat du Burkina Faso, 13 p.

JALDA-DORI, 2000. Etude pour le développement des techniques destinées aux mesures de lutte contre la désertification. Rapport final, Tome I, 228 p.

Jarraud M., 2006. Suivi de la sécheresse et alerte précoce: principes, progrès et enjeux futurs. Organisation météorologique mondiale, Genève, Suisse, 26 p.

Kaboré K. A., 2002. *Performances comparées de trois cultivars améliorés de Ziziphus mauritiana Lam. (Jujubier) sous différents régimes d'irrigation et de fertilisation au Burkina Faso.* Mémoire de fin de cycle, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso/Institut du Développement Rural, 98 p.

Kaboré V. S., 1995. *Amélioration de la production végétale des sols dégradés (zipellés) du Burkina Faso par la technique des poquets (zai).* Thèse de docteur ès sciences. EPFL, Lausanne (Suisse), 196 p.

Kambou N. F., Taonda S. J-B., Zougmoré R., Kaboré B., Dickey J., 1994. Effet des pratiques de conservation des sols sur l'évolution de la sédimentation, des états de surface et des rendements de mil d'un site érodé à Yilou, Burkina Faso. In : DeBoer J. L., Boffa J.M., Dickey J., Robins E., (Eds), *Recherche intégrée en production agricole et en gestion des ressources naturelles* : Projet d'appui à la recherche et à la formation agricoles (ARTS), 1990 – 94 ;. Purdue University et Winrock International : Rapport technique, pp. 49 – 59.

Kawtar F. B., Mohammed I., Sanae F. B., Abdellatif T., 2004. Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation : impact du phénomène au Maroc. *Sécheresse*, 15 : 307-20.

Kazakou E., 2006. Vie, mort et décomposition des feuilles d'espèces de succession secondaire méditerranéenne : vers une intégration de la gestion des éléments minéraux par les végétaux; Université Montpellier II, Sciences & Techniques Du Languedoc, 91 p.

Kessler J. J., Slingerland M. A., Savadogo M., 1998. Regeneration of sylvopastoral lands in the Sahel zone under village management conditions. *Land Degradation & Developpement*, 9 : 95 -106.

Khater C., Arnaud M., 2007. Application of restauration ecology principles to the practice of limestone quarry rehabilitation in Lebanon. *Lebanese Science Journal*, 8 (1) : 19-28.

Kiéma A., Ouédraogo T., Nianogo A. J., Sanou S., 2001. Effets des cordons pierreux et du scarifiage sur la régénération des pâturages naturels en région sahélienne du Burkina Faso. *Rev. Sci. Tech., Série Sci. Nat. Agron.*, 25(2): 99-113.

Kiéma A., Nianogo A. J., Kaboré-Zoungrana C., 2007. Étude bilan des aménagements anti – érosifs dans les pâturages en région sahélienne du Burkina Faso. *Études Rech. Sahé.*, 13; 21-28.

Kiema A., Nianogo A. J., Ouedraogo T., 2008. Effets des cordons pierreux sur la régénération d'un pâturage naturel de glacis au Sahel. *Cahiers Agricultures*; **17**(3) : 281-288.

Kiema A., 2008. *Effets des techniques de restauration et d'exploitation des pâturages naturelles sahéliens sur la dynamique de la production fourragère*. Thèse de doctorat unique, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, 175 p.

Kiéma S., 2007. *Elevage extensif et conservation de la diversité biologique dans les aires protégées de l'Ouest burkinabé. Arrêt sur leur histoire, épreuves de la gestion actuelle, état et dynamique de la végétation*. Thèse de doctorat, Université d'Orléans, Orléans, 562 p.

Koulibaly B., Traoré T., Dakio D., Zombré P. N., 2009. Effets des amendements locaux sur les rendements, les indices de nutrition et les bilans culturaux dans un système de rotation coton-maïs dans l'ouest du Burkina Faso. *Biotechnol Agron Soc Environ*, 13 : 103-111.

Koutou M., 2006. *Déterminants de l'adoption du zai forestier et perspectives d'amélioration de la technologie au Yatenga (Burkina Faso)*. Mémoire de fin de cycle, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso/Institut du Développement Rural, 78 p.

Krebs, C. J. 2001. Why are my brilliant research findings not utilized in ecology textbooks? *Bulletin of the Ecological Society of America* 82: 152-153.

Ky-Dembélé C., 2011. *Clonal Propagation of Detarium microcarpum and Khaya senegalensis. A Step toward Clonal Forestry in Burkina Faso*. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences. Alnarp, 66 p.

Lamachere J. M., Ouedraogo M., 1991. Observation piézométriques, année 1987-1990. Programme de recherche en vue de la mise en valeur des bas-fonds au sahel, projet yatenga. ORSTOM Ouagadougou, 94 p.

Lahmar R., Ruellan A., 2007. Dégradation des sols et stratégies coopératives en Méditerranée : la pression sur les ressources naturelles et les stratégies de développement durable. *Cahiers Agricultures.*, 16 : 318-323.

Lavelle P., Haarbrink F. W., Martin A. et al., 1993. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystem : application to soils of humid tropics. *Biotropica*, 23: 130-150.

LE Houerou H. N., 1980. Le rôle des ligneux fourrager dans la zone sahélienne et soudanienne. In Le Houerou H. N. éd., *les fourrages ligneux en Afrique. Etat actuel des connaissances*, Addis Abéba, 8-12 avril 1980, CIPEA, 481p : 85-101.

Lévèque C., 2001. Ecologie. De l'écosystème à la biosphère. Masson Sciences. Dunod, Paris. 502p.

Leprun J. C., Moreau R., 1969. Etude pédologique de la Haute-Volta. Région ouest-nord. Ronéo + Carte à 1/500 000, ORSTOM, Dakar-Hann, 341 p.

Lombo D. J-P., 2005. *Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes de culture de l'Ouest du Burkina Faso: évaluation des effets agronomiques et de la rentabilité économique de trois formules de fumures.* Mémoire de fin de cycle. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso/Institut du Développement Rural, 50p.

Lombo D. J. P., 2007. *Impact des résidus de pesticides sur les microorganismes des sols dans les agrosystèmes cotonniers du Burkina Faso.* Mémoire de DEA, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso/Institut du Développement Rural, 46 p.

Lozet J., Mathieu C., 1997. Dictionnaire de Science du Sol. Technique & Documentation. 488 p.

M.A., 1999. Stratégie nationale et plan d'action de gestion intégrée de la fertilité des sols, Ministère de l'Agriculture, Burkina Faso, 102 p. + annexes.

M.A.H.R.H., 2010. Résultats définitifs de la campagne agricole et de la situation alimentaire et nutritionnelle 2009/2010, Ministère de l'Agriculture de l'hydraulique et des Ressources halieutiques, Burkina Faso, Ouagadougou, 58 p.

Mahamane A., 2005. *Etudes floristique, phytosociologie et phytogéographique de la végétation du Parc Régional du W du Niger.* Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique, Université Libre de Bruxelles, 443 p.

Mahamane A., Mahamane S., Lejoly J., 2007. Phénologie de quelques espèces ligneuses du parc national du « W » (Niger). *Sécheresse*, 18 (4) : 354-58.

Mahamane A., Ichau A., Ambouta J. M. K., Mahamane S., Morou B., Amani I., Mahamadou H., d'Herbès J. M., Gineste P., Wata I., Issaka A., 2007. Indicateur écologique de mise en culture de jachère au Niger. *Sécheresse* 18 (4) : 289-95.

Mando A., 1991. *L'impact de l'activité 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 de fin de cycle, Université de Ouagadougou/Institut du Développement Rural, 76 p.

Mando A., 1997. *The role of termites and mulch in the rehabilitation of crusted sahelian soil, tropical ressources management.* Theses Wageninger Agriculture University, 101 p.

Maré G., 2002. Impact des cordons pierreux végétalisés sur l'évolution de la fertilité des sols et des rendements en sorgho dans la le bas-fond sahélien de THION, 61 p.

Mazour M., Roose E., 2002. Influence de la couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des sols sur parcelles d'érosion dans les bassins versants du nord-ouest de l'Algérie. *Érosion*, 21 : 320-330.

M.E.C.V., 2004. Rapport national sur la gestion durable des forêts au Burkina Faso. Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, Ouagadougou, 25 p.

M.E.E., 1996. Programme National d'Aménagement des Forêts. Ministère de l'Environnement et de l'Eau, Burkina Faso, Ouagadougou, 62 p.

Mulders M. A., Wiersum K. F., 1995. Land degradation : concept, processes and assessment – Wageningen, Pays-Bas : Antenne Sahélienne de l'Université Agronomique Wageningen, Pays-Bas, et de l'Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 24 p.

Munsell, 1975. Soil color charts. Ed. 1975. Soil Test. Inc.

Musy A., Soutter M., 1991. Physique du sol. Eds Presses polytechniques et universitaires romandes, 335 p.

Nacro H. B., 1997. *Hétérogénéité de la matière organique dans un sol de savane humide (Lamto, Côte d'Ivoire) : caractérisation chimique et étude in vitro, des activités microbiennes de minéralisation du carbone et de l'azote.* Thèse de Doctorat de l'Université, Paris 6, 302 p.

Naitombaidé M., 2012. *Incidence des modes de gestion des fumures et des résidus de récolte sur la productivité des sols dans les savanes du Tchad.* Thèse de doctorat unique, Sciences du sol, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 171 p.

Niang D., Mermoud A., Yacouba H., Karambiri H., 2004. Fonctionnement hydrique de différents types de formations éoliennes en milieu sahélien burkinabé. *Sud Sci. Tech.*; 12 : 4-12.

Nicolardot B., Chaussod R., Catroux G., 1982. Revue des principales méthodes disponibles pour mésurer la biomasse microbienne et ses activités. *Science du sol*, 4 : 253-261.

Noula K., 2006. Forêt classée de Kuinima, de Kua : analyse de l'état général, des fonctions, utilisations et tendances. Recommandation pour leur protection, restauration et valorisation.

Version définitive, BKF/007. Bobo-Dioulasso : Projet d'aménagement participatif des forêts classées de Dinderesso et du Kou (PAFDK), 41p.

Ouattara B., Sédozo M. P., Lombo F., 1994. Effets de quatre types de substrats organiques sur le système poral d'un sol ferrugineux tropical sous culture de sorgho. *Sci. Techn.*, 21 : 60-77.

Ouattara B., Sédozo M. P., Assa A., Lombo F., Ouattara K., Fortier M., 1998. Modifications de la porosité du sol après trente-trois années de labour d'enfouissement de fumier au Burkina Faso. *Cahiers Agricultures*, 7 : 9-14.

Ouattara B., 2009. *Analyse diagnostic du statut organique et de l'état structural des sols des agrosystèmes cotonniers de l'ouest du Burkina Faso (Terroir de Bondoukui)*. Thèse Doctorat d'Etat, Sciences du sol, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 186 p.

Ouattara J. M., 2010. La problématique de la gestion foncière ; quel rôle pour les collectivités territoriales? Ouagadougou, www.Droit-Afrique.com, Burkina Faso 25 p.

Ouedraogo A., 1997. *L'effet de la coupe de Detarium microcarpum Guill. et Perr. sur la régénération de la végétation dans la forêt classée de Nazinon*. Mémoire Eaux et Forêts, 73 p.

Ouedraogo E., 2004. *Soil quality improvement for crop production in semi-arid West Africa*. Thesis, Wageningen University and Research Center, Netherland, 191 p.

Ouédraogo M. L., 2011. *Evaluation des systèmes de cultures associés dans les séries agro-forestières de la forêt classée de Dindéresso*. Mémoire de fin de cycle, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso/Institut du Développement Rural, 72 p.

Ouédraogo M., Dembélé Y., Somé L., 2010. Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso. *Sécheresse*, 21(2) : 87-96.

Ouedraogo S., 2004. Gestion des pâturages naturels en zone soudanienne du Burkina Faso. Faculté universitaire des sciences agronomiques, 25p.

Ouédraogo E., Mando A., Zombré N. P., 2001. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agric Ecosyst Environ.*, 84 : 259-66.

Pallo F. J. P., Sawadogo N., Sawadogo L., Sedogo P. M., 2008. Statut de la matière organique des sols dans la zone sudsoudanienne au Burkina Faso. *Biotechnol Agron Soc Environ*, 12 : 291-301.

Pallo F. J. P., 2009. *Statut de la matière organique des sols sous formations naturelles de longue durée au Burkina Faso*. Vol. 1. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 224 p.

Peters C. M., 1997. Exploitation soutenue de produits forestiers autres que le bois en forêt tropicale humide : Manuel d'information d'écologie. Programme d'appui à la biodiversité : Numéro 2 Corporate Press. Inc. Landover. M. D. 49 p.

Pichot J., Sedogo M. P., Poulain J. F., Arrivets J., 1981. Évolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence de fumures minérales et organiques. *L'Agronomie Tropicale*, 36 : 122-33.

Piéri C., 1989. 'Fertilité des terres de savane : Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara.' Ministère de la Coopération, CIRAD/IRAT (Paris), 444 p.

Prasad P. P. V., Psipati S. R., Mutava R. N., Tuinstra M. R., 2008. Sensitivity of sorghum to high temperature stress during reproductive development. *Crop science*, 48 : 1911–1917.

PSB, 2003. Rapport annuel d'activité 2002 du Programme Sahel Burkinabè. Cellule Suivi – Evaluation, Coopération allemande au développement (PSB/GTZ), Burkina Faso ; 33 p.

Ræbild A., Hansen H. H., Dartell J., Ky J-M. K., Sanou L., 2007. Ethnicity, land use and woody vegetation: a case study from south-western Burkina Faso. *Agroforest syst.*, 70 : 157-167.

Rakotoarimanana V, Gondard H, Ranaivoarivelo N, Carriere S., 2008. Influence du pâturage sur la diversité floristique, la production et la qualité fourragères d'une savane des Hautes Terres malgaches (région de Fianarantsoa). *Sécheresse*; 19 (1) : 39-46.

Reij C., Ian S., Camilla T., 1996. Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique. Edition Karthala, CDSCS et CTA, 351 p.

Rochette R. M., 1989. Le sahel en lutte contre la désertification, leçon d'expérience. CILSS, PAC, 591 p.

Rognon P., 2007. Quel avenir pour les déserts face aux progrès de la désertification. *Sécheresse*, 18 (4) : 349-53.

Roose E., 1989. Méthodes traditionnelles de gestion de l'eau et des sols en Afrique occidentale soudano-sahélienne. Définitions, fonctionnements, limites et améliorations possibles. *Érosion*, 10 : 98-107.

Roose E., Dugué P., Rodriguez L., 1993. L'aménagement des terroirs villageois et l'amélioration de la production agricole au Yatenga (Burkina Faso). Une expérience de recherche développement. *Cahiers ORSTOM, série pédologie*, 27 (2) : 385-402.

Roose E., Kaboré V., Guenat C., 1995. Le zaï, une technique traditionnelle africaine de réhabilitation des terres dégradées de la région soudano-sahélienne (Burkina Faso). In : Pontanier R., M'Hiri A., Akrimi N., Aronson J., Le Floch E., (Eds.), *L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ?* John Libbey. Eurotex, pp. 249-265.

Roose E., Kaboré V., Guenat C., 1999. Zaï practice: A West African traditional rehabilitating system for semiarid degraded lands, a case study in BURKINA FASO. ORSTOM, 16 p.

Roose E., Bellefontaine R., Visser M., 2011. Six rules for the rapid restoration of degraded lands: synthesis of 17 case studies in tropical and mediterranean climates. *Sécheresse*, 22 (22), 86-96.

ROSELT/OSS., 2003. Evaluation et surveillance de la flore et de la végétation. Coordination Régionale ROSELT, Montpellier, France, 229 p.

Ruellan A., Dosso M., 1993. Regards sur le sol. Ed. Foucher, Paris-France, 192 p.

Sambou B., 2004. *Evaluation de l'état, de la dynamique et des tendances évolutives de la flore et de la végétation ligneuse dans les domaines soudaniens et subguinéens au Sénégal.* Thèse d'Etat ès sciences naturelles. Université Cheikh Anta Diop (Ucad), 210 p.

Savadogo M., 1994 : *Diagnostic de l'impact du lac du barrage de la Kompienga sur l'évolution des surfaces boisées : cartographie, pré-inventaire, typologie des formations végétales.* Mémoire de fin de cycle, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso/Institut du Développement Rural, 80 p.

Savadogo P., Sawadogo L., Tiveau T., 2007. Effects of grazing intensity and prescribed fire on soil physical and hydrological properties and pasture yield in the savanna woodlands of Burkina Faso. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118: 80–92.

Sawadogo H., Bock L., Lacroix D., Zombré N. P., 2008. Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du Zaï et du compost dans le Yatenga (Burkina Faso). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 12(3) : 279-290.

Sawadogo L., 1996. *Évaluation des potentialités pastorales d'une forêt classée soudanienne du Burkina Faso (cas de la forêt classée de Tiogo).* Thèse de doctorat de 3è Cycle de l'Université de Ouagadougou. Spécialité : sciences biologiques appliquées, 147 p.

Sédogo M. P., 1993. *Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : Incidence des modes de gestion sur la fertilité.* Thèse Doctorat-es-sciences, Université Nat. de Côte d'Ivoire, Abidjan, 285 p.

Sédogo P. M., 2006. Aménagement participatif des forêts classées de Kuinima et de Kua. Rapport définitif, BKF 007, 42 p.

Sedogo P. M., 1981. *Contribution à l'étude de la valorisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi aride (matière organique du sol, nutrition azoté des cultures).* Thèse de docteur ingénieur, INPL Nancy ,135 p.

Segda Z., 2006. *Gestion de la fertilité du sol pour une production améliorée et durable du riz (*Oryza sativa L.*) au Burkina Faso. Cas de la plaine irriguée de Bagré.* Thèse de Doctorat, Université de Ouagadougou. 198 p.

Sidibé A., 2005. Farm-level adoption of soil and water conservation technique in northern Burkina Faso. *Agricultural Water Management*, 71 : 211-224.

Sinsin B., 1993. *Phytosociologie, écologie, valeur pastorale et capacité de charge des pâturages naturels du périmètre de Nikki-Kalalé au Nord-Bénin.* Thèse de doctorat en sciences agronomiques de l'Université Libre de Bruxelles, section interfacultaire d'agronomie, 329 p

Six J., Bossuyt H., Degryze S., Denef K., 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Till. Res.*, 79 : 7-31.

Soltner D., 1987. Les bases de la production végétale. Tome 1 : le sol. Coll. Sciences et techniques agricoles. 15^{ème} édition, 463 p.

Some N. A., Traoré K., Traoré O., Tassembedo M., 2007. Potentiel des jachères artificielles à *Andropogon* spp. dans l'amélioration des propriétés chimiques et biologiques des sols en zone soudanienne (Burkina Faso). *Biotechnol. Agron. Soc. Enviro*, 11 (3), 245–252.

Somé N. A., 1996. *Les systèmes écologiques post-culturaux de la zone soudanienne (BURKINA FASO): structure spatio-temporelle des communautés végétales et évolution des caractères pédologiques.* Thèse de Doctorat. Université Pierre et Marie CURIE. Paris 6, 212 p.

Spearman C., 1904. The proof and measurement of association between two things. *Am. J. psych.* 15: 72-101.

Stroosnijder L., 1996. Modelling the effect of grazing on infiltration, runoff and primary production in the Sahel. *Ecolog. Modelling*, 92 : 79-88

Sultan B., Janicot S., Baron C., Dingkuhn M., Muller B., Traoré S., Sarr B., 2008. Les impacts agronomiques du climat en Afrique de l'Ouest : une illustration des problèmes majeurs. *Sécheresse*. 19(1) : 29-37.

Tarrier M., 2007. 2050 Sauve qui peut la Terre ! Éds. du Temps, Maroc, 287 p.

Thiombiano A., 1996. *Contribution à l'étude des Combretaceae dans les formations végétales de la région Est du Burkina Faso.* Thèse de troisième cycle, université de Ouagadougou (UO), Faculté des sciences et techniques (FAST) de l'université de Ouagadougou, 220 p.

Toutain B, Piot J., 1980. Mise en défens et possibilités de régénération des ressources fourragères sahéliennes. Etudes expérimentales dans le bassin de la mare d'Oursi (Haute-Volta). Maisons-Alfort: Institut d'élevage et de médecine vétérinaire ; Centre technique forestier tropical (IEMVT CTFT), 150 p.

Traoré M., Belo H., Barry O., Tamani S. and Ouattara T. G., 2012. Community soil resources management for Sub-Saharan West Africa: case study of the gourma region in Burkina Faso. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2 : 24-39.

T.T.A., 2004. Raisonnement de l'échantillonnage du sol en parcelle agricole. Bulletin mensuel de liaison et d'information du programme national du TTA, Maroc, N°122, 4 p.

Vallauri D., Chauvin Ch., 1997. L'écologie de la restauration appliquée à la forêt. *Revue forestière française*, 3 : 195-203.

Visser S. M., 2004. Modelling nutrient losses by wind and water erosion in northern Burkina Faso, Wageningen University, 169 p.

Wali M. K., 1999. Ecological succession and the rehabilitation of disturbed terrestrial ecosystems. *Plant and Soil* 213:195–220.

Walkey A., Black I. A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *soil science*, 37: 29-38.

Walter I., Calvo R. 2009. Biomass production and development of Native Vegetation Following biowaste amendment of a degraded, semi-arid soil. *Arid Land Res. Manag.*, 23: 297-310.

Whittaker R. H., 1972. Evolution of species diversity. *Taxon*, 21: 213-251.

Yaméogo G., 2001. *Impact des aménagements anti-érosifs sur la dynamique du peuplement forestier ligneux de la zone subsahélienne de Tougouri (Burkina Faso)*. Mémoire inspectorat Eaux et Forêts, INERA-ENEF, 63 p.

Yaméogo J. T., Hien M., Lykke A. M., Somé A. N., Thiombiano A., 2011. Effet des techniques de conservation des eaux et des sols, zaï forestier et cordons pierreux, sur la réhabilitation de la végétation herbacée à l'Ouest du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5(1) ; 56-71.

Yaméogo T. J., 2008. *Restauration et réhabilitation de sols dégradés en zone soudanienne du Burkina Faso : Caractérisation biophysique du site pilote de la Forêt classée de Kuinima*. Mémoire de DEA, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso/Institut du Développement Rural, 49 p.

Yaméogo T. J., 2006. *Etude d'impact des aménagements anti-érosifs sur la régénération ligneuse dans le massif forestier de Bougou, province du Namentenga.* Mémoire de fin de cycle d'ingénieur, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso/Institut du Développement Rural, 81 p.

Yaméogo T. J., Somé N. A., Hien M., 2009. Etude préliminaire à une restauration de sols dégradés en zone soudanienne du Burkina Faso. *Sécheresse*, 20 (1): 32-8.

Yougbaré H., 2008. *Evaluation de la fertilité des terres aménagées en cordons pierreux, zaï et demi-lunes dans le bassin versant du Zondoma.* Mémoire de fin de cycle, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso/Institut du Développement Rural, 55 p.

Zida L., 1992. Condition hydrique dans bas-fond sahélien, incidence sur les cultures vivrières, Bidi, Nord yatenga, Burkina Faso, 107p.

Zombré N. P., 2006. Variation de l'activité biologique dans les zipella (sols nus) en zone subsahélienne du Burkina Faso et impact de la technique du zaï (techniques des poquets). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 10 (2), 139 – 148.

Zombré N. P., Mando A., Ilboudo J. B., 2000. Impact des techniques de conservation des eaux et des sols sur la restauration des jachères très dégradés au Burkina Faso. In : Floret C. et Pontanier R., (Eds.), *La jachère en Afrique tropicale*, pp. 771-777.

Zombré N. P., 2003. *Les sols très dégradés (Zipela) au centre nord du Burkina Faso : Dynamique, caractéristiques morpho-biopédologiques et impacts des techniques de restauration sur leur productivité.* Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou, Ouagadougou, 324 p.

Zombré N. P., 1984. *Les sols développés sur roches à complexe d'altération montmorillonitique et kaolinitique dans le centre sud de la Haute Volta (Caractères et fertilité).* Doctorat de troisième cycle, Université de droit, d'économie et des sciences, AIX-Marseille III, 313 p.

Zoungrana I., 1991a. *Recherches sur les aires pâturées du Burkina Faso.* Thèse de Doctorat es Sciences Naturelles de l'Université Bordeaux III, UFR Aménagement et Ressources Naturelles. 277 p.

Zoungrana I., 1991b. Les jachères Nord-soudaniennes du Burkina Faso : in Floret C et Serpantié G.,: *la jachère en Afrique de l'ouest.* Atelier international, Montpellier, du 2 au 5 Décembre 1991, pp. 351-359.

Zougmoré R., Guillobez S., Kambou N. F., Son G., 2000. Runoff and sorghum performance as affected by the spacing of stone lines in the semiarid Sahelian zone. *Soil and Tillage Research* , 56 : 175-183.

Zougmoré R., Gnankambaré Z., Guillobez S., Stroosnijder L., 2002. Effect of stone lines on soil chemical characteristics under continuous sorghum cropping in semi-arid Burkina Faso. *Soil and Tillage Research*, 66: 47-53

Zougmoré R., Ouattara K., Mando A., Ouattara B., 2004b. Rôle des nutriments dans le succès des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées, zaï et demi-lunes) au Burkina Faso. *Sécheresse*, 15 : 1–8.

Zougmoré R., Mando A., Ringersma J., Stroosnijder L. 2003a. Effect of combined water and nutrient management on runoff and sorghum yield in semiarid Burkina Faso. *Soil Use and Management*, 19 ; 257-264.

Zougmoré R., Zida Z., Kambou F., 2005. Récupération agronomique des terres encroûtées par la technique de zaï, INERA SARIA, Fiche technique N°10, 2 p.

Zougmoré R., Mando A., Stroosnijder L., 2009. Soil nutrient and sediment loss as affected by erosion barriers and nutrient source in semi-arid Burkina Faso. *Arid Land Rese. Manag.*, 23 : 85-101.

Zougmoré R., Mando A., Stroosnijder L., Guillobez S., 2004a. Nitrogen flows and balances as affected by water and nutrient management in a sorghum cropping system of semiarid Burkina Faso. *Field Crops Research*; 90: 235–244.

Zougmoré R., Zida Z., Kambou N. F., 2003b. Role of nutrient amendments in the success of half-moon soil and water conservation practice in semiarid Burkina Faso. *Soil & Tillage Research*, 71; 143–149

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche de description de profil pédologique

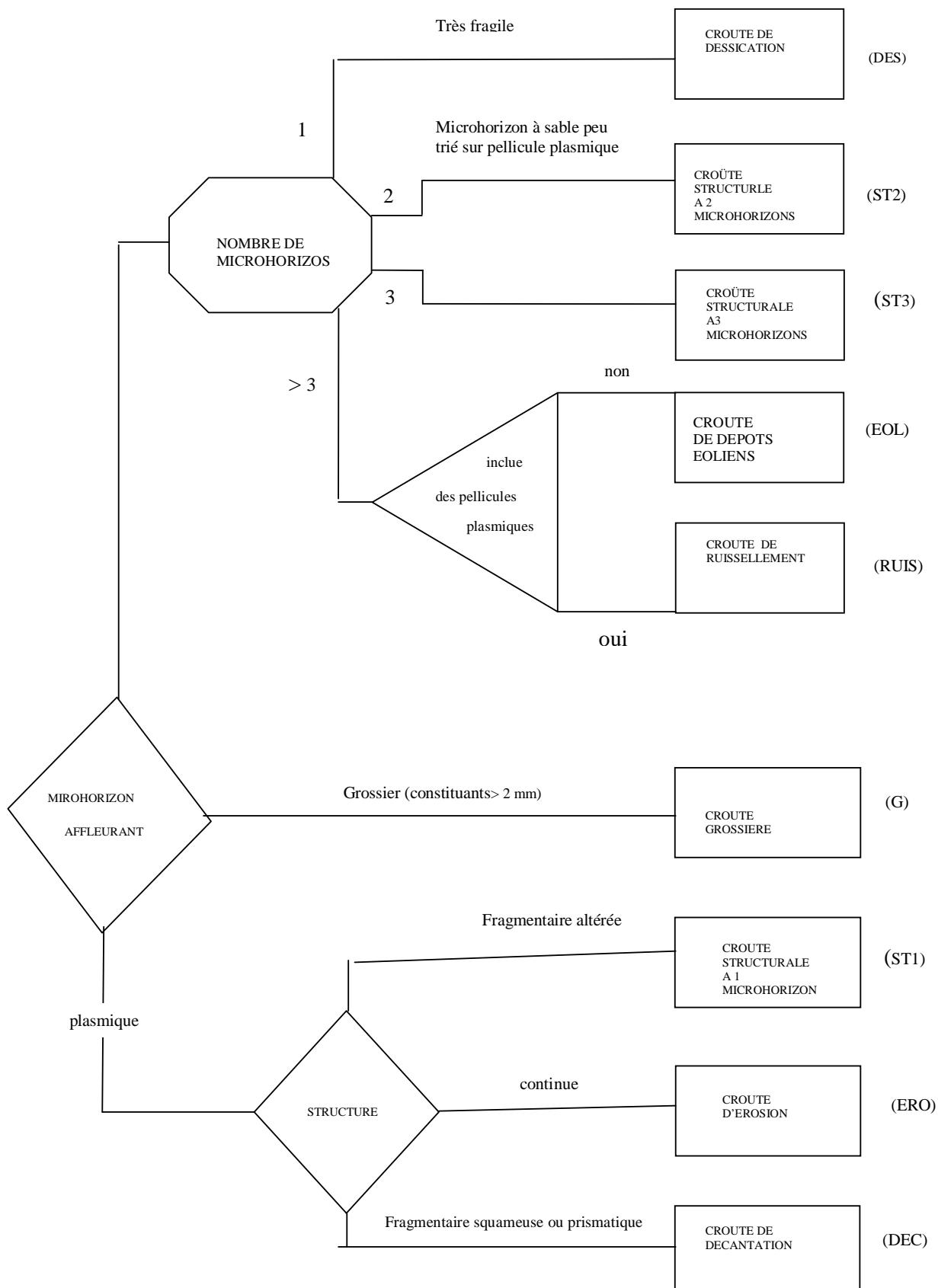
Burkina Faso - Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage - Secretariat général										
BUREAU NATIONAL DES SOLS: Fiche de description de profil pédologique										
Numero profil:	Date description:	Unité cartogr:								
Auteur (s):	Classification: CPCS 1967 :									
Légende réservée FAO:										
Localisation:					Altitude :					
Position physiogr:					Topographie envir :					
Microtopographie: Végétation et/ou utilisation					Pente :					
Roche-mère:					Drainage:					
Etat hydrique: Cailloux en surface/affleurements rocheux:					Nappe:					
Erosion:					Influence humains:					
Classif. Technique										
Horizon/ Profondeur	(s)	Couleur		Taches	Texture	Eléments Grossiers	Structure	CONSISTANCE		
		Sec	humide					S	F	H

Horizon/ Profondeur	Cutans,Faces de Pression/ glies	PORES	Fragments minéraux	Cimentation/ induration	Ca CO ₃	PH	Racines	Activité Biologique	Transition-Ech

Notes additionnelles: _____

Fiche basée sur "Directives pour la description des sols" 2e édition F.A.O., Rome, 1977

Annexe 2 : clef de détermination des microhorizons pelliculaires superficiels



Annexe 3: Description des profils des parcelles agricoles

Profil n°AB1-1

Date de description: 19/01/2008

Auteurs : Dr. TRAORE : M. YAMEOGO.

a) CLASSIFICATION DU SOL

- CPCS (1967) : sol ferrugineux lessivé induré moyennement profond
- WRB (2000) : lixisol endo-pétrique squelettique
- Coordonnées Latitude = 30°P 358528

Longitude = UTM 1225817

Altitude = 441 m

b) ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : Kuinima

Végétation et /ou utilisation : Savane arbustive à *Detarium microcarpum*, *Pteleopsis suberosa*, *Crosopterix febrifuga*, *Annona senegalensis* et *loudetia kerstingui*

- Position physiographique : moyenne pente de glacis
- Topographie environnante : ondulé
- Microtopographie : termitières mortes
- Pente : 0-7%
- Matériau parental : -
- Etat hydrique : sec
- Affleurement de surface/cuirasse : épandage de blocs de granites et de graviers ferrugineux
- Erosion : en nappe
- Influence humaine : pâturage et coupe de bois

c) DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

0-18 cm : brun (7,5YR5/4) à l'état sec et brun vif (7,5YR5/8) à l'état humide ; texture limono-sableuse ; 40% de graviers ferrugineux ; structure moyennement développée en éléments fins, moyens et grossiers polyédriques sub-angulaires ; consistance peu dure ; nombreux pores très fins, fins, moyens et grossiers ; très nombreuses racines fines, moyennes et grosses ; activité biologique bien développée ; limite distincte.

18-54 cm : jaune rougeâtre (7,5YR7/8) à l'état sec et jaune rougeâtre (7,5YR6/8) à l'état humide ; texture limono-argilo-sableuse ; 20% de graviers ferrugineux ; structure. Bien développée en éléments fins, moyens et grossiers polyédriques sub-angulaires ; consistance peu dure ; nombreux pores très large, fins et très fins; très nombreuses racines grosses, moyennes et fines ; activité biologique bien développée.

> 54 cm : carapace.

Annexe 3: Description des profils des parcelles agricoles (suite)

Profil n°AB1-2

Date de description: 19/01/2008

Auteurs : Dr. TRAORE : M. YAMEOGO.

a) CLASSIFICATION DU SOL

- CPCS (1967) : sol ferrugineux lessivé induré moyennement profond
 - WRB (2000) : lixisol endo - pétrique squelettique

Coordonnées Latitude=30P 358518

Longitude = UTM 1225764

Altitude = 443 m

c) ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- ## - Localisation : Kuinima

Végétation et /ou utilisation : Savane arbustive à *Detarium microcarpum*, *Pteleopsis suberosa*, *Annona senegalensis*, *Crosopterix febrifuga*

- Position physiographique : moyenne pente de glacié
 - Topographie environnante : ondulée
 - Microtopographie : termitières mortes
 - Pente : 0-4%
 - Matériau parental : -
 - Etat hydrique : sec
 - Affleurement de surface/cuirasse : épandage de blocs de granites et de graviers rugineux
 - Erosion : en nappe
 - Influence humaine : pâturage, feu de brousse et coupe de bois

c) DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

0-10 cm : brun pâle (10YR6/3) à l'état sec et brun foncé (10YR3/3) à l'état humide ; texture limono-sableuse ; structure massive ; consistance dure ; peu nombreux pores très fins et fins ; peu nombreuses racines très fines et fines ; activité biologique bien développée ; limite distincte.

10- 20 cm : jaune rougeâtre (7,5YR6/6) à l'état sec et brun vif (7,5YR5/6) à l'état humide ; texture limono -argilo - sableuse ; 40% de graviers ferrugineux ; structure faiblement développée en éléments moyens et fins polyédriques sub-angulaires ; consistance peu dure ; nombreux pores fins, moyens et larges; nombreuses racines très fines, fines et moyennes ; activité biologique bien développée ; abrupte.

20 - 58 cm : jaune (10YR7/8) à l'état sec et brun jaunâtre (10YR5/8) à l'état humide ; texture limono-argile ; 20% de graviers ferrugineux ; structure moyennement développée en éléments moyens, fins et grossiers polyédriques sub-angulaires ; consistance peu dure ; nombreux pores fins, très fins et moyens ; nombreuses racines très fines et fines ; activité biologique moyennement développée.

> 58 cm : carapace.

Annexe 3: Description des profils des parcelles agricoles (suite**)**

Profil n°AB1-3

Date de description: 19/01/2008

Auteurs : Dr. TRAORE : M. YAMEOGO.

a) CLASSIFICATION DU SOL

- CPCS (1967) : sol ferrugineux lessivé induré moyennement profond
- WRB (2000) : lixisol endo - pétrique endo- squelettique

Coordonnées Latitude= 30P358496

Longitude = UTM 1225707

Altitude = 443 m

b) ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : Kuinima

Végétation et /ou utilisation : Savane arbustive à *Detarium microcarpum*, *Pteleopsis suberosa*, *Entada africana*, *Crosopterix febrifuga*, *Annona senegalensis*

- Position physiographique : moyenne pente de glacis
 - Topographie environnante : ondulée
 - Microtopographie : termitières champignons
- Pente : 0-5%
- Matériau parental : -
 - Etat hydrique : sec
 - Affleurement de surface/cuirasse : épandage de blocs de granites et de graviers ferrugineux
 - Erosion : en nappe
 - Influence humaine : pâturage, feu de brousse et coupe de bois

c) DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

0-29 cm : brun grisâtre (10YR5/2) à l'état sec et brun grisâtre très foncé (10YR3/2) à l'état humide ; texture limono -sableuse ; faiblement développée grossiers et moyens polyédriques sub-angulaires ; consistance peu dure ; nombreux pores très fins, fins et moyens ; nombreuses racines très fines, fines et moyennes ; activité biologique bien développée ; limite graduelle.

29- 60 cm : jaune rougeâtre (7,5YR7/8) à l'état sec et jaune rougeâtre (7,5YR6/8) à l'état humide ; texture limono -argilo – sableuse ; 5% de graviers ferrugineux ; structure bien développée en éléments fins, moyens et grossiers polyédriques sub-angulaires ; consistance peu dure ; nombreux pores très fins, fins et moyens; nombreuses racines très fines, fines et grosses ; activité biologique bien développée ; graduelle.

60 - 90 cm : jaune rougeâtre (7,5YR7/8) à l'état sec et jaune rougeâtre (7,5YR6/8) à l'état humide ; texture limono -argile ; 80% de graviers ferrugineux ; structure bien développée en éléments fins, moyens et grossiers polyédriques sub-angulaires ; consistance peu dure ; nombreuses racines très fines, fines et grosses ; rares racines très fines et fines activité biologique moyennement développée.

> 90 cm : carapace.

Notes additionnelles : Poches de coprolithes dans les 1^{er} et 2^{ème} horizons.

Annexe 3: Description des profils des parcelles agricoles (suite)

Profil n°AB1-4

Date de description: 19/01/2008

Auteurs : Dr. TRAORE : M. YAMEOGO.

a) CLASSIFICATION DU SOL

Longitude = UTM 1225648

Altitude = 446 m

b) ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : Kuinima
 - Végétation et /ou utilisation : Savane arbustive à *Detarium microcarpum*, *Pteleopsis suberosa*, *Gardenia Erubescens*, *Crosopterix febrifuga*, *Annona senegalensis*
 - Position physiographique : haut de pente de glacis
 - Topographie environnante : ondulée
 - Microtopographie : termitières
 - Pente : 0-3%
 - Matériaux parentaux : -
 - Etat hydrique : sec
 - Affleurement de surface/cuirasse : épandage de blocs de granites et de graviers ferrugineux
 - Erosion : en nappe
 - Influence humaine : pâturage, feu de brousse et coupe de bois

c) DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

0-21 cm : jaune rougeâtre (7,5YR6/6) à l'état sec et brun vif (7,5YR5/6) à l'état humide ; texture limono-sableuse ; 40% de graviers ferrugineux ; structure bien développée en éléments moyens, fins et grossiers polyédriques sub-angulaires ; consistance tendre ; nombreux pores très fins, fins, moyens et grossiers ; nombreuses racines très fines, fines, moyennes et grosses ; activité biologique bien développée ; limite graduelle.

21-50 cm : jaune rougeâtre (7,5YR6/6) à l'état sec et jaune rougeâtre (7,5YR6/8) à l'état humide ; texture limono-argilo-sableuse ; 80% de concrétions et de graviers ferrugineux ; structure Bien développée en éléments moyens, fins et grossiers polyédriques sub-angulaires ; consistance tendre ; nombreux pores très large, très fins, fins moyens et large; nombreuses racines très fines, fines et grosses ; activité biologique bien développée.

> 50 cm : carapace.

Annexe 3: Description des profils des parcelles agricoles (suite)

Profil n°AB2-1

Date de description: 19/01/2008

Auteurs : Dr. TRAORE : M. YAMEOGO.

a) CLASSIFICATION DU SOL

Longitude = UTM 1225847

Altitude = 441 m

b) ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : Kuinima
 - Végétation et /ou utilisation : Savane arbustive à *Detarium microcarpum*, *Pteleopsis suberosa*, *Crosopterix Febrifuga*, *Annona senegalensis*
 - Position physiographique : bas pente de glacis
 - Topographie environnante : ondulée
 - Microtopographie : termitières
 - Pente : 0-4
 - Matériaux parentaux : -
 - Etat hydrique : sec
 - Affleurements de surface/cuirasse : épandage de blocs de granites et de graviers ferrugineux
 - Erosion : en nappe
 - Influence humaine : pâturage, feu de brousse et coupe de bois

c) DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

0-19 cm : jaune rougeâtre (7,5YR6/6) à l'état sec et brun vif (7,5YR5/8) à l'état humide ; texture limono -argilo- sableuse ; 10% de graviers ferrugineux ; structure bien développée en éléments moyens, fins et grossiers polyédriques sub-angulaires ; consistance tendre ; nombreux pores très fins, fins et moyens; nombreuses racines très fines, fines et moyennes ; activité biologique bien développée ; limite graduelle.

19-50 cm : jaune rougeâtre (7,5YR6/6) à l'état sec et jaune rougeâtre (7,5YR6/8) à l'état humide ; texture limono-argileuse ; 70% de graviers ferrugineux ; structure moyennement développée en éléments moyens, fins et grossiers polyédriques sub-angulaires ; consistance tendre ; nombreux pores très fins, fins et moyens ; nombreuses racines très fines, fines, grosses et moyennes ; activité biologique bien développée.

> 50 cm : carapace.

Annexe 3: Description des profils des parcelles agricoles (suite)

Profil n°AB2-2

Date de description: 19/01/2008

Auteurs : Dr. TRAORE : M. YAMEOGO.

a) CLASSIFICATION DU SOL

- CPCS (1967) : sol ferrugineux lessivé induré moyennement profond
 - WRB (2000) : lixisol endo-pétrique épi squelettique
 - Coordonnées Latitude = 30°P35°E46°2

Longitude = UTM 1225790

Altitude = 444 m

b) ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : Kuinima
 - Végétation et /ou utilisation : Savane arbustive à *Detarium microcarpum*, *Pteleopsis suberosa*, *Crosopterix Febrifuga*, *Annona senegalensis*
 - Position physiographique : moyenne pente de glacis
 - Topographie environnante : ondulée
 - Microtopographie : Affleurements de granites
 - Pente : 0-5%
 - Matériaux parentaux : -
 - Etat hydrique : sec
 - Affleurement de surface/cuirasse : épandage de blocs de granites et de graviers ferrugineux
 - Erosion : en nappe
 - Influence humaine : pâturage, feu de brousse et coupe de bois

c) DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

0-24 cm : jaune brunâtre (10YR6/6) à l'état sec et brun jaunâtre foncé (10YR4/6) à l'état humide ; texture limono-sableuse ; 30% de graviers ferrugineux ; structure bien développée en éléments moyens et grossiers polyédriques sub-angulaires ; consistance peu dure ; nombreux pores très fins, fins et larges ; très nombreuses racines très fines et fines ; activité biologique bien développée ; limite graduelle.

24-57 cm : jaune (10YR7/6) à l'état sec et brun jaunâtre (10YR6/8) à l'état humide ; texture limono-argilo-sableuse ; 15% de graviers ferrugineux ; structure moyennement développée en éléments moyens, fins et grossiers polyédriques sub-angulaires ; consistance tendre ; nombreux pores très fins, fins et moyens ; nombreuses racines très fines, fines et moyennes ; activité biologique bien développée.

> 57 cm : carapace.

Annexe 3: Description des profils des parcelles agricoles (suite)

Profil n°AB2-3

Date de description: 19/01/2008

Auteurs : Dr. TRAORE : M. YAMEOGO.

a) CLASSIFICATION DU SOL

Longitude = UTM1225734

Altitude = 447 m

b) ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : Kuinima
 - Végétation et /ou utilisation : Savane arbustive à *Detarium microcarpum*, *Pteleopsis suberosa*, *Crosopterix Febrifuga*, *Annona senegalensis*
 - Position physiographique : moyenne pente de glacis
 - Topographie environnante : ondulée
 - Microtopographie : Affleurements de granites
 - Pente : 0-6%
 - Matériaux parentaux : -
 - Etat hydrique : sec
 - Affleurement de surface/cuirasse : épandage de blocs de granites et de graviers ferrugineux
 - Erosion : en nappe
 - Influence humaine : pâturage, feu de brousse et coupe de bois

c) DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

0-14 cm : brun pâle (10YR6/3) à l'état sec et brun foncé (10YR4/3) à l'état humide ; texture limono-sableuse ; 60% de graviers ferrugineux ; structure moyennement développée en éléments moyens et fins polyédriques sub-angulaires ; consistance peu dure ; nombreux pores très fins, fins et moyennes ; nombreuses racines très fines, fines et grosses ; activité biologique bien développée.

> 14 cm : carapace

Annexe 3: Description des profils des parcelles agricoles (suite et fin)

Profil n°AB2-4

Date de description: 19/01/2008

Auteurs : Dr. TRAORE : M. YAMEOGO.

a) CLASSIFICATION DU SOL

Longitude = UTM1225685

Altitude = 442 m

b) ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : Kuinima
 - Végétation et /ou utilisation : Savane arbustive à *Detarium microcarpum*, *Pteleopsis suberosa*, *Gardenia erubescens*, *Crosopterix Febrifuga* *Annona senegalensis*
 - Position physiographique : moyenne pente de glacis
 - Topographie environnante : ondulée
 - Microtopographie : Affleurements de granites et termitières
 - Pente : 0-3%
 - Matériaux parentaux : -
 - Etat hydrique : sec
 - Affleurement de surface/cuirasse ferrugineux : épandage de blocs de granites et de graviers
 - Erosion : en nappe
 - Influence humaine : pâturage, feu de brousse et coupe de bois

c) DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

0-30 cm : gris clair (10YR7/6) à l'état sec et brun jaunâtre (10YR5/6) à l'état humide ; texture limono-sableuse ; 20% de graviers ferrugineux ; structure bien développée en éléments moyens, fins et grossiers polyédriques sub-angulaires ; consistance peu dure ; nombreux pores très fins, fins et moyennes ; nombreuses racines très fines, fines et grosses ; activité biologique bien développée.

> 30 cm : carapace

Annexe 4: Description des profils des parcelles forestières.

Profil n°FB1-1

Date de description: 19/01/2008

Auteurs : Dr. TRAORE : M. YAMEOGO.

a) CLASSIFICATION DU SOL

Longitude = UTM1225874

Altitude = 444 m

b) ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : Kuinima
 - Végétation et /ou utilisation : Savane arbustive à *Detarium microcarpum*
 - Position physiographique : bas de pente de glacis
 - Topographie environnante : ondulée
 - Microtopographie : termitières (boal)
 - Pente : 0-4%
 - Matériaux parentaux : -
 - Etat hydrique : sec
 - Affleurement de surface/cuirasse ferrugineux : épandage de blocs de granites et de graviers
 - Erosion : en nappe
 - Influence humaine : pâture, feu de brousse et coupe de bois

c) DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

0- 19 cm : brun très pale (10YR7/3) à l'état sec et brun (10YR5/3) à l'état humide ; 10% de taches d'hydromorphie, texture limono-sableuse ; structure faiblement développée en éléments grossiers, moyens et fins polyédriques sub-angulaires ; consistance peu dure ; peu nombreux pores très fins et fins ; peu nombreuses racines très fines et moyennes ; activité biologique peu développée.

> 19 cm : carapace

Annexe 4: Description des profils des parcelles forestières (**suite**).

Profil n°FB1-2

Date de description: 19/01/2008

Auteurs : Dr. TRAORE : M. YAMEOGO.

a) CLASSIFICATION DU SOL

- CPCS (1967) : sol ferrugineux lessivé induré superficiel
- WRB (2000) : plinthosol épi pétrique
- Coordonnées Latitude = 30P358295

Longitude = UTM1225832

Altitude = 440 m

b) ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : Kuinima
- Végétation et /ou utilisation : Savane arbustive à *Detarium microcarpum*
Loudetia kerstingii
- Position physiographique : bas de pente de glacis
- Topographie environnante : ondulé
- Microtopographie : Affleurements de granites
- Pente : 0-4%
- Matériau parental : -
- Etat hydrique : sec
- Affleurement de surface/cuirasse ferrugineux : épandage de blocs de granites et de graviers
- Erosion : en nappe
- Influence humaine : pâturage, feu de brousse et coupe de bois

c) DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

0-14 cm : brun très pale (10YR7/3) à l'état sec et brun (10YR5/3) à l'état humide ; texture limono-sablo-argileuse ; structure faiblement développée en éléments grossiers, moyens et fins polyédriques sub-angulaires ; consistance peu dure ; peu nombreux pores très fins, et fins; peu nombreuses racines très fines, fines et moyennes ; activité biologique bien développée.

> 14 cm : carapace.

Annexe 4: Description des profils des parcelles forestières (**suite**).

Profil n°FB1-3

Date de description: 19/01/2008

Auteurs : Dr. TRAORE : M. YAMEOGO.

a) CLASSIFICATION DU SOL

- CPCS (1967) : sol ferrugineux lessivé induré superficiel
- WRB (2000) : plinthosol épi pétroque hyper squelettique

- Coordonnées Longitude = 30P358250

Longitude = UTM1225802

Altitude = 438 m

b) ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- | | | |
|--|---------|--|
| - Localisation : | Kuinima | : Savane arbustive à <i>Detarium microcarpum</i> ,
<i>Loudetia kerstingui</i> |
| - Végétation et /ou utilisation | | : bas de pente de glacis |
| - Position physiographique | | : ondulée |
| - Topographie environnante | | : Affleurements de granites |
| - Microtopographie | | : 0-3% |
| - Pente | | : - |
| - Matériau parental | | : sec |
| - Etat hydrique | | : épandage de blocs de granites et de graviers |
| - Affleurement de surface/cuirasse ferrugineux | | ferrugineux |
| - Erosion | | : en nappe |
| - Influence humaine | | : pâturage, feu de brousse et coupe de bois |

c) DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

0-10 cm : brun très pale (10YR6/3) à l'état sec et brun jaunâtre foncé (10YR4/4) à l'état humide ; texture limono-sableux ; 70% de graviers ferrugineux ; structure faiblement développée en éléments moyens, grossiers, fins polyédriques sub-angulaires ; consistance tendre ; nombreux pores très fins, fins et moyens; nombreuses racines très fines et fines ; activité biologique bien développée.

> 10 cm : carapace.

Annexe 4: Description des profils des parcelles forestières (suite).

Profil n°FB1-4

Date de description: 19/01/2008

Auteurs : Dr. TRAORE : M. YAMEOGO.

a) CLASSIFICATION DU SOL

- CPCS (1967) : sol ferrugineux lessivé induré moyennement profond
- WRB (2000) : lixisol endopétrique
- Coordonnées Latitude = 30°35'51.94"

Longitude = UTM1225761

Altitude = 440 m

b) ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : Kuinima
- Végétation et /ou utilisation : Savane arbustive à *Detarium microcarpum*, *Andropogon ascinodis*, *Loudezia kerstingii*
- Position physiographique : bas de pente de glacier
- Topographie environnante : ondulée
- Microtopographie : Affleurements de granites
- Pente : 0-4%
- Matériau parental : -
- Etat hydrique : sec
- Affleurement de surface/cuirasse : épandage de blocs de granites et de graviers ferrugineux
- Erosion : en nappe
- Influence humaine : pâturage, feu de brousse et coupe de bois

c) DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

0-15 cm : jaune brunâtre (10YR6/6) à l'état sec et brun jaunâtre foncé (10YR4/6) à l'état humide ; texture limono- sablo- argileuse ; 10% de graviers ferrugineux ; structure massive ; consistance dure; peu nombreux pores très fins; nombreuses racines très fines, fines et moyennes ; activité biologique bien développée ; limite graduelle.

15-46 cm : brun très pâle (10YR7/4) à l'état sec et jaune (10YR7/8) à l'état humide ; texture limono- argileuse ; 5% de graviers ferrugineux ; structure faiblement développée en éléments moyens et fins ; consistance tendre; nombreux pores très fins, fins et moyens; nombreuses racines très fines, fines et moyennes ; activité biologique bien développée.

> 46 cm : carapace

Annexe 4: Description des profils des parcelles forestières (suite).

Profil n°FB2-1

Date de description: 19/01/2008

Auteurs : Dr. TRAORE : M. YAMEOGO.

a) CLASSIFICATION DU SOL

- CPCS (1967) : sol ferrugineux lessivé induré moyennement profond
- WRB (2000) : lixisol endo pétrique hyper ferrique
- Coordonnées Latitude = 30°35'53.07"

Longitude = UTM1225930

Altitude = 441 m

b) ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : Kuinima
- Végétation et /ou utilisation : Savane arbustive à *Detarium microcarpum*,
Pteleopsis suberosa, *Annona senegalensis*,
Andropogon ascinodis, *Loudetia kerstingii*
- Position physiographique : bas de pente de glacis
- Topographie environnante : ondulée
- Microtopographie : Affleurements de granites
- Pente : 0-5%
- Matériau parental : -
- Etat hydrique : sec
- Affleurement de surface/cuirasse : épandage de blocs de granites et de graviers ferrugineux
- Erosion : en nappe
- Influence humaine : pâturage, feu de brousse et coupe de bois

c) DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

0-20 cm : brun jaunâtre (10YR5/4) à l'état sec et brun foncé (10YR3/4) à l'état humide ; texture limono- sablo- argileuse ; 50% de graviers ferrugineux ; structure massive ; consistance dure; nombreux pores très fins, fines, moyennes et larges; nombreuses racines très fines, fines et moyennes ; activité biologique bien développée ; limite distincte.

20-50 cm : jaune rougeâtre (7,5YR6/6) à l'état sec et brun vif (7,5YR5/8) à l'état humide ; texture limono- argileuse ; 60% de graviers ferrugineux ; structure moyennement développée en éléments moyens et grossiers ; consistance dure; nombreux pores très fins et fins; nombreuses racines très fines, fines et grosses ; activité biologique bien développée.

>50 cm : carapace

Annexe 4: Description des profils des parcelles forestières (suite).

Profil n°FB2-2

Date de description: 19/01/2008

Auteurs : Dr. TRAORE : M. YAMEOGO.

a) CLASSIFICATION DU SOL

- CPCS (1967) : sol ferrugineux lessivé induré superficiel
- WRB (2000) : plinthosol épi pétrique squelettique
- Coordonnées Latitude = 30°35'58.266

Longitude = UTM1225895

Altitude = 437 m

b) ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation : Kuinima
- Végétation et /ou utilisation : Savane arbustive à *Detarium microcarpum*, *Combretum collinum*, *Andropogon ascinodis*, *Loudetia kerstingii*
- Position physiographique : bas de pente de glacis
- Topographie environnante : ondulée
- Microtopographie : Affleurements de granites
- Pente : 0-4%
- Matériau parental : -
- Etat hydrique : sec
- Affleurement de surface/cuirasse ferrugineux : épandage de blocs de granites et de graviers
- Erosion : en nappe
- Influence humaine : pâturage, feu de brousse et coupe de bois

c) DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

0-8 cm : brun pâle (10YR6/3) à l'état sec et brun jaunâtre (10YR5/6) à l'état humide ; quelques taches d'hydromorphie ; texture limono-sableuse ; 5% de graviers ferrugineux ; structure massive ; consistance dure; rares pores très fins; nombreuses racines très fines, fines et moyennes ; activité biologique bien développée ; limite distincte.

8-32 cm : brun très pâle (10YR7/3) à l'état sec et brun très pâle (10YR7/3) à l'état humide ; quelques taches d'hydromorphie ; texture limono-argilo-sableuse ; 15% de graviers ferrugineux ; structure moyennement développée en éléments fins, très fins, moyens et grossiers ; consistance tendre; assez nombreux pores très fins et fins; rares racines moyennes et grosses ; activité biologique bien développée.

>32 cm : carapace.

Annexe 4: Description des profils des parcelles forestières (suite).

Profil n°FB2-3

Date de description: 19/01/2008

Auteurs : Dr. TRAORE : M. YAMEOGO.

a) CLASSIFICATION DU SOL

- CPCS (1967) : sol ferrugineux lessivé induré superficiel
- WRB (2000) : plinthosol épi pétrique squelettique
- Coordonnées Latitude = 30°35'58.216

Longitude = UTM1225854

Altitude = 436 m

b) ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- | | |
|--|--|
| - Localisation : Kuinima | : Savane arbustive à <i>Detarium microcarpum</i> ,
<i>Andropogon ascinodis</i> , <i>Loudezia kerstingui</i> |
| - Végétation et /ou utilisation | : bas de pente de glacier |
| - Position physiographique | : ondulée |
| - Topographie environnante | : Affleurements de granites |
| - Microtopographie | : 0-3% |
| - Pente | : - |
| - Matériau parental | : sec |
| - Etat hydrique | : épandage de blocs de granites et de graviers |
| - Affleurement de surface/cuirasse ferrugineux | ferrugineux |
| - Erosion | : en nappe |
| - Influence humaine | : pâturage, feu de brousse et coupe de bois |

c) DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

0-5 cm : horizon A perturbé.

5- 27 cm : brun jaunâtre clair (10YR6/4) à l'état sec et brun jaunâtre (10YR6/6) à l'état humide ; texture limono-sableuse ; 40% de graviers ferrugineux ; structure bien développée en éléments moyens, fins et très fins ; consistance tendre; nombreux pores très fins, fins et larges; nombreuses racines très fines, fines et moyennes ; activité biologique bien développée.

>27 cm : carapace.

Annexe 4: Description des profils des parcelles forestières (**suite et fin**).

Profil n°FB2-4

Date de description: 19/01/2008

Auteurs : Dr. TRAORE : M. YAMEOGO.

a) CLASSIFICATION DU SOL

- CPCS (1967) : sol ferrugineux lessivé induré moyennement profond
- WRB (2000) : lixisol endo pétrique ferrique
- Coordonnées Latitude = 30°35'16.3"

Longitude = UTM1225820

Altitude = 434 m

b) ENVIRONNEMENT DU PROFIL

- Localisation :	Kuinima	: Savane arbustive à <i>Detarium microcarpum</i> , <i>Daniella oliveri</i> , <i>Andropogon ascinodis</i>
- Végétation et /ou utilisation		: bas de pente de glacier
- Position physiographique		: ondulée
- Topographie environnante		: Affleurements de granites
- Microtopographie		: 0-5%
- Pente		: -
- Matériau parental		: sec
- Etat hydrique		: épandage de blocs de granites et de graviers
- Affleurement de surface/cuirasse ferrugineux		ferrugineux
- Erosion		: en nappe
- Influence humaine		: pâturage, feu de brousse et coupe de bois

c) DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DU PROFIL

0- 13 cm : brun pâle (10YR6/3) à l'état sec et brun foncé (10YR4/3) à l'état humide ; texture limono-sableuse ; 5% de graviers ferrugineux ; structure massive ; consistance dure; peu nombreux pores très fins et fins; nombreuses racines très fines, fines et moyennes ; activité biologique bien développée ; limite distincte.

13- 47 cm : jaune brunâtre (10YR6/6) à l'état sec et jaune brunâtre (10YR6/8) à l'état humide ; texture limono-argileuse ; 30% de graviers ferrugineux ; structure moyennement développée en éléments fins et grossiers ; consistance tendre; nombreux pores très fins et fins; nombreuses racines très fines, fines, moyennes et grosses ; activité biologique bien développée.

> 47cm : carapace.

Annexe 5: fiche d'inventaire

Date : Parcalle n°.....

Fiche n°....

Légende : 0= sain 1=coupe ; 2= dessèchement partiel ; 3= pied mort

Annexe 6: Classification de la végétation adoptée par le ministère de l'environnement et du tourisme (1983)

Classes	Sous-classes	Symboles	Critères h=hauteur (m) r=recouvrement (%)
Forêt claire		A3/4	Strate arborée $h > 12$; $r > 40$
Savane boisée		B3/4	Strate arborée $h : 5-12$; $r > 40$
	Très dense	B4	Strate arborée : $r > 70$
Savane arborée	Dense	B3	Strate arborée : $40 \leq r < 70$
	Claire	B2	Strate arborée $h > 5$; $10 \leq r < 40$
	Dense	B2C3	Strate arbustive $h < 5$; $r < 40$
Savane arbustive	Claire	B2C2	Strate arbustive $h < 5$; $r < 40$
		C	Strate arborée $h > 5$; $r < 10$ Strate arbustive $h < 5$; $10 \leq r < 40$
	Très dense	C4	Strate arbustive $h < 5$; $r > 70$
	Dense	C3	Strate arbustive $h < 5$; $40 \leq r < 70$
Savane herbeuse	Claire	C2	Strate arbustive $h < 5$; $10 \leq r < 40$
		C1	Strate arbustive et arborée $r < 10$
Formation ripicole	A définir	R	Situation géomorphologique (bas-fonds, marigots etc.)

Source : Doulkom (2000).

Codes de critère de classification :

Hauteur

- A- $h > 12$ m.
- B- $h : 5-12$ m.
- C- $h < 5$ m.

Recouvrement

- 1- $r < 10\%$
- 2- $10\% \leq r < 40\%$
- 3- $40\% \leq r < 70\%$
- 4- $r > 70\%$

Annexe 7 : Richesse spécifique ligneuse des parcelles des deux sites avant aménagement

Familles	Espèces	Agroforestier	Forestier
Anacardiaceae	<i>Lannea acida A. Rich.</i>	+	+
	<i>Lannea microcarpa Engl. et K. Krause</i>	+	+
	<i>Lannea velutina A. Rich</i>	+	+
	<i>Ozoroa insignis Del.</i>	+	+
Annonaceae	<i>Annona senegalensis Pers.</i>	+	+
	<i>Hexalobus monopetalus (A. Rich.) Engl. et Diels.</i>	+	-
Apocynaceae	<i>Baissea multiflora A. DC.</i>	+	-
	<i>Holarrhena floribunda (G. Don.) Dur. et Schinz</i>	+	-
	<i>Landolphia heudelotii A. DC.</i>	+	+
	<i>Saba senegalensis (A. DC.)</i>	+	+
	<i>Strophantus sarmentosus DC</i>	-	+
Araliaceae	<i>Cussonia arborea Hochst. ex A. Rich</i>	-	+
Bignoniaceae	<i>Stereospermum kunthianum cham.</i>	+	+
Bombacaceae	<i>Bombax costatum Pellegr. et Vuillet</i>	+	+
Caesalpiniaceae	<i>Afzelia africana Smith. ex Pers.</i>	+	-
	<i>Burkea africana Hook. F.</i>	+	+
	<i>Cassia sieberiana D.C.</i>	+	+
	<i>Daniellia oliveri (Rolfe) Hutch. et Dalz.</i>	+	+
	<i>Detarium microcarpum Guill. et Perr.</i>	+	+
	<i>Isoberlinia doka Craib. et Stapf.</i>	+	+
	<i>Piliostigma thonningii Milne. Redh.</i>	+	-
	<i>Swartzia madagascariensis Desv.</i>	+	+
	<i>Tamarindus indica Linn.</i>	+	+
Capparidaceae	<i>Boscia sp</i>	+	-
Chrysobalanaceae	<i>Maranthes polyandra (Benth) France</i>	+	+
	<i>Parinari curatellifolia Planch. ex Benth.</i>	+	+
Clusiaceae	<i>Psorospermum sp</i>	+	-
Combretaceae	<i>Combretum collinum Fresen</i>	+	+
	<i>Combretum fragans F. Hoffm.</i>	+	-
	<i>Combretum glutinosum Perrot ex DC.</i>	+	+
	<i>Combretum micranthum G. Don.</i>	+	+
	<i>Combretum nigricans Lepr. ex Guillet Perrot.</i>	-	+
	<i>Guiera senegalensis J.F. Gmel.</i>	+	+
	<i>Pteleopsis suberosa Engl. et Diels</i>	+	+
	<i>Terminalia avicennioïdes Guill. et Perrot.</i>	+	-
	<i>Terminalia laxiflora Engl.</i>	+	+
	<i>Terminalia macroptera Guill. et Perr.</i>	+	+
Dipterocarpaceae	<i>Monotes kerstingii Gilg.</i>	-	+

Annexe 7 : Richesse spécifique ligneuse des parcelles des deux sites avant aménagement (suite et fin)

<i>Ebenaceae</i>	<i>Diospyros mespiliformis Hochst. ex A. DC.</i>	+	+
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Bridelia ferruginea Benth</i>	+	+
	<i>Bridelia micrantha (Hochst) Baill.</i>	+	+
<i>Fabaceae</i>	<i>Erythrina senegalensis DC.</i>	+	-
	<i>Pericopsis laxiflora Van Meeuwen</i>	+	-
	<i>Pterocarpus erinaceus Poir.</i>	+	-
	<i>Xeroderris stuhlmannii Mendonça et E.P. Sousa</i>	+	+
<i>Hymenocardiaceae</i>	<i>Hymenocardia acida Tul.</i>	+	+
<i>Loganiaceae</i>	<i>Strychnos innocua Del.</i>	+	+
	<i>Strychnos spinosa Lam.</i>	+	+
<i>Meliaceae</i>	<i>Trichilia hermetica Vahl</i>	+	-
<i>Mimosaceae</i>	<i>Acacia macrostachya Reichent. ex Benth</i>	+	+
	<i>Dichrostachys glomerata Chiov</i>	-	+
	<i>Entada africana Guill. et Perr.</i>	+	+
	<i>Parkia biglobosa R. BC. ex G. Don.</i>	+	+
	<i>Prosopis africana Taub.</i>	-	+
<i>Moraceae</i>	<i>Ficus capreaefolia Del.</i>	-	+
<i>Ochnaceae</i>	<i>Lophira lanceolata Van. Tiegh. ex Keay</i>	-	+
	<i>Ochna schweinfurthiana F. Hoffm.</i>	+	-
<i>Olacaceae</i>	<i>Ximenia americana Linn.</i>	-	+
<i>Opiliaceae</i>	<i>Opilia celtidifolia Endel. ex Walp.</i>	+	+
<i>Polygalaceae</i>	<i>Securidaca longepedunculata Fres.</i>	+	+
<i>Rhamnaceae</i>	<i>Ziziphus mauritiana Lam.</i>	-	+
	<i>Ziziphus mucronata Wild.</i>	-	+
<i>Rubiaceae</i>	<i>Crosopterix febrifuga Benth</i>	+	+
	<i>Feretia apodantha Dl.</i>	+	-
	<i>Gardenia aqualla Stapf et Hutch.</i>	+	-
	<i>Gardenia erubescens Stapf et Hutch.</i>	+	+
	<i>Gardenia ternifolia Schum et E. Thonn.</i>	+	+
<i>Sapotaceae</i>	<i>Manilkara multinervis (Bak.) Dubard</i>	+	-
	<i>Vitellaria paradoxa (Gaertn. F.)Heppr.</i>	+	+
<i>Verbenaceae</i>	<i>Vitex doniana Sweet.</i>	+	+

+ = présence ; - = absence

Annexe 8 : Planches photographiques des différents traitements



Ouverture de zaï forestier



Construction de cordon pierreux



Parcelle de zaï agricole et de cordon pierreux



Parcelle de zaï agricole



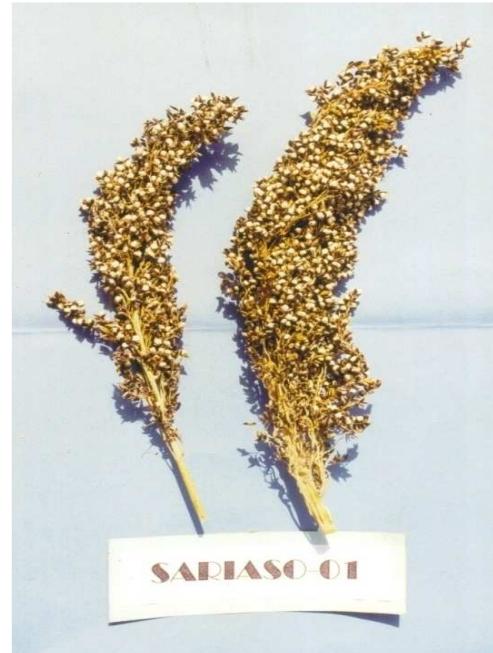
Labour de la parcelle de cordon pierreux



Labour de la parcelle témoin

Annexe 9 : Fiche technique Sariaso 01

Synonymes	:	Collection locale (Boromo)
Nature génétique	:	lignée
Origine géographique :	BF Farako-Bâ	
Origine génétique	:	Sélection massale
Année d'obtention	:	1990
Type racial	:	Guinea



CARACTERES DE LA PLANTE

Cycle semis-floraison	:	90 j
Cycle semis-maturité	:	120 j
Photosensibilité	:	sensible
Hauteur de plante	:	400 cm
Couleur de la plante	:	anthocyanée
Tallage utile	:	1 à 2 tiges

CARACERES DE LA PANICULE/EPI

Exsertion	:	bonne
Forme	:	fasciculée
Longueur	:	40 cm
Compacité	:	lâche
Port	:	retombante
Couleur des glumes	:	noire
Aristation des glumelles	:	présente

CARACTERES AGRONIMIQUES

Vigueur à la levée	:	excellente	Couleur du grain	:	blanche
Résistance à la verse	:	bonne	Tâches d'anthocyane	:	présentes
Résistance à la sécheresse	:	moyenne	Vitrosité (texture)	:	vitreux
Résistance aux maladies	:		Couche brune	:	absente
- maladies foliaires	:	moyenne	Couleur de l'albumen	:	blanche
- moisissures des grains	:	résistante	Poids de 1000 grains	:	20 à 23 g
- charbon allongé	:	-	Teneur en protéines	:	
			Utilisation du grain	:	
Résistance aux insectes	:		- Tô	:	excellent
- cécidomyie	:	sensible	- couscous	:	bonne
- punaises	:	résistante	- autres	:	dolo
Résistance au striga	:	sensible			
Performances					
- rendement grain maximum en station	:	3 800 kg/ha			
- rendement grain moyen en station	:	3 000 kg/ha (essais conduits de 1984-1989)			
- rendement moyen en milieu réel	:	2 000 kg/ha			

Points forts	Points faibles
Bonne adaptation en milieux faiblement intensifiés	Sensibilité à la cécidomyie
Régularité de rendement	Sensibilité au striga
Bon comportement en cas de sécheresse lors du remplissage de grain	

Annexe 10 : Richesse spécifique et indice de présence des ligneux dans les différents traitements

Familles	Espèces	T		CP		ZF	
		2007	2010	2007	2010	2007	2010
Anacardiaceae	<i>Lannea acida A. Rich.</i>	0,22	0,55	0,43	0,45	0,31	0,46
	<i>Lannea microcarpa Engl. et K. Krause</i>	0,67	0,66	0,90	0,86	0,61	0,97
	<i>Lannea velutina A. Rich</i>					0,20	0,19
	<i>Ozoroa insignis Del.</i>	2,00	2,20	1,49	1,15	0,81	0,78
Annonaceae	<i>Annona senegalensis Pers.</i>	5,33	4,40	5,97	6,02	7,69	7,95
	<i>Hexalobus monopetalus (A. Rich.) Engl. et Diels.</i>			0,29		0,65	
Apocynaceae	<i>Baissea multiflora A. DC.</i>			0,30		0,18	
	<i>Holarrhena floribunda (G. Don.) Dur. et Schinz</i>	0,27					
	<i>Landolphia heudelotii A. DC.</i>					0,19	
	<i>Saba senegalensis (A. DC.)</i>					0,20	0,19
	<i>Strophantus sarmentosus DC</i>	1,11	1,10	0,90	0,86	1,62	1,55
Araliaceae	<i>Cussonia arborea Hochst. ex A. Rich</i>			0,30		0,29	
Bignoniaceae	<i>Stereospermum kunthianum cham.</i>	0,22					
Bombacaceae	<i>Adansonia digitata L.</i>					0,16	
	<i>Bombax costatum Pellegr. et Vuillet</i>	0,44	0,88			0,40	0,58
Caesalpiniaceae	<i>Afzelia africana Smith. ex Pers.</i>				0,65		0,67
	<i>Burkea africana Hook. F.</i>	0,17	0,23	1,12	1,34	1,45	1,43
	<i>Cassia sieberiana D.C.</i>					0,61	0,58
	<i>Daniellia oliveri (Rolfe) Hutch. et Dalz.</i>	2,22	2,20	1,19	1,72	2,83	2,61
	<i>Detarium microcarpum Guill. et Perr.</i>	50,91	47,92	48,05	40,91	29,52	29,66
	<i>Isoberlinia doka Craib. et Stapf.</i>					3,85	2,68
	<i>Swartzia madagascariensis Desv.</i>	2,44	2,64	1,49	1,43	4,05	3,88
	<i>Tamarindus indica Linn.</i>	0,44	0,66		0,23		0,27
Chrysobalanaceae	<i>Maranthes polyandra (Benth) France</i>	1,56	1,54	0,30	0,86	1,82	1,24
	<i>Parinari curatellifolia Planch. ex Benth.</i>	1,33	1,32			0,20	0,19
Combretaceae	<i>Combretum collinum Fresen</i>	7,78	7,69	10,15	10,03	2,63	2,52
	<i>Combretum fragans F. Hoffm.</i>			0,63		0,54	0,34
	<i>Combretum glutinosum Perrot ex DC.</i>	2,44	2,86	0,90	0,29	0,81	0,91
	<i>Combretum micranthum G. Don.</i>	0,22	0,22	0,90	0,86	0,20	0,19
	<i>Combretum nigricans Lepr. ex Guillet Perrot.</i>	0,44	0,44	0,30	0,29		
	<i>Guiera senegalensis J.F. Gmel.</i>	0,22	0,22	1,19	1,15	2,43	2,33
	<i>Pteleopsis suberosa Engl. et Diels</i>	2,89	2,86	1,79	1,72	13,56	10,98
	<i>Terminalia laxiflora Engl.</i>			0,45		0,47	0,34
	<i>Terminalia macroptera Guill. et Perr.</i>	2,89	2,86	3,58	4,01	1,01	1,16
Ebenaceae	<i>Diospyros mespiliformis Hochst. ex A. DC.</i>					0,17	
Euphorbiaceae	<i>Bridelia ferruginea Benth</i>					0,16	
	<i>Pericopsis laxiflora Van Meeuwen</i>	0,23	0,32	0,45			
	<i>Pterocarpus erinaceus Poir.</i>			0,35	0,17	0,12	0,19
	<i>Xeroderris stuhlmannii Mendonça et E.P. Sousa</i>	0,22	0,44		1,15	0,20	0,39

Annexe 10 : Richesse spécifique et indice de présence des ligneux dans les différents traitements (suite et fin)

<i>Loganiaceae</i>	<i>Strychnos innocua</i> Del.		0,34	0,19	0,17
	<i>Strychnos spinosa</i> Lam.		0,60	0,57	1,01
<i>Mimosaceae</i>	<i>Acacia macrostachya</i> Reichent. ex Benth	2,89	3,30	4,18	4,87
	<i>Dichrostachys glomerata</i> Chiov		0,30	0,29	
	<i>Entada africana</i> Guill. et Perr.	0,67	0,88	0,30	0,29
	<i>Faidherbia albida</i> (Del.) Chev.			0,56	0,67
	<i>Parkia biglobosa</i> R. BC. ex G. Don.	0,22	0,22	0,60	0,57
	<i>Prosopis africana</i> Taub.			0,40	0,39
<i>Moraceae</i>	<i>Ficus glumosa</i> Del.	0,67	0,66		
<i>Ochnaceae</i>	<i>Lophira lanceolata</i> Van. Tiegh. ex Keay			1,01	0,97
<i>Olacaceae</i>	<i>Ximenia americana</i> Linn.		0,90	0,86	
<i>Opiliaceae</i>	<i>Opilia celtidifolia</i> Endel. ex Walp.	1,56	1,54		0,38
<i>Polygonaceae</i>	<i>Securidaca longepedunculata</i> Fres.	1,33	1,32	4,18	4,30
<i>Rhamnaceae</i>	<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	0,44	0,44		
	<i>Ziziphus mucronata</i> Wild.	0,89	0,88	0,60	0,57
				0,20	0,19
<i>Rubiaceae</i>	<i>Crosopterix febrifuga</i> Benth	2,22	2,42	0,60	0,57
	<i>Feretia apodantha</i> Dl.		0,23		0,32
	<i>Gardenia aqualla</i> Stapf et Hutch.		0,23		0,16
	<i>Gardenia erubescens</i> Stapf et Hutch.	1,56	1,54	5,07	6,02
	<i>Gardenia ternifolia</i> Schum et E. Thonn.				0,43
	<i>Vitellaria paradoxa</i> (Gaertn. F.)Heppr.	0,67	0,66	0,30	0,57
				1,82	1,74
<i>Tiliaceae</i>	<i>Grewia bicolor</i> Juss.	0,23	0,19		
<i>Verbenaceae</i>	<i>Vitex doniana</i> Sweet.	0,22		0,22	0,20
Total fréquence		100	100	100	100
Total des espèces		36	39	32	44
Variation du nombre d'espèces (%)		8,33		37,5	19,51

T = Témoin ; CP = Cordon pierreux ; ZF = Zaï forestier

Annexe 11 : Richesse spécifique herbacée des différents traitements en 2010

Famille	Genre espèce	Types biologiques	Traitements		
			T	CP	ZF
Acanthaceae	<i>Lepidagathis anobrya</i> Nees	Hv	-	-	+
	<i>Lepidagathis collina</i> (Endl) Milne-Redh	Ha	+	+	+
Amaranthaceae	<i>Celosia trigyna</i> Witth ex Steud.	Ha	-	+	-
	<i>Pandiaka heudelotii</i> (Moq) Hiern.	Ha	+	-	+
Araceae	<i>Stylochaeton warneckei</i> Engl.	Hv	-	+	+
Asteraceae	<i>Bidens bipinnata</i> Linn.	Ha	+	-	+
	<i>Vernonia nigritiana</i> Oliv. et Hiern.	Hv	-	+	-
	<i>Vernonia perrottetii</i> Sch. Bip. ex Walp.	Hv	-	+	-
	<i>Vicoa leptoclada</i> (Webb) Dandy	Ha	-	-	+
Caesalpiniaceae	<i>Cassia mimosoides</i> DC.	Ha	+	+	+
	<i>Cassia tora</i> L.	Ha	-	-	+
Caryophyllaceae	<i>Polycarpaea corymbosa</i> (Linn) Lam.	Ha	-	+	-
	<i>Polycarpon prostratum</i> (Forssk.) Asch.& Schweinf.	Ha	-	-	+
	<i>Cochlospermum planchonii</i> Hook.f.	Hv	+	+	+
Cochlospermaceae	<i>Cochlospermum tinctorium</i> Perr.	Hv	+	+	+
Commelinaceae	<i>Commelina nigritana</i> Benth.	Ha	-	-	+
	<i>Cyanotis lanata</i> Benth.	Ha	-	+	+
	<i>Cyanotis longifolia</i> Benth.	Hv	+	-	-
Convolvulaceae	<i>Evolvulus alsinoides</i> Linn.	Hv	+	+	+
	<i>Ipomoea eriocarpa</i> R.Br	Ha	+	+	+
Cucurbitaceae	<i>Cucumis melo</i> Blanco.	Ha	-	-	+
Cyperaceae	<i>Cyperus haspan</i> Benth.	Hv	-	-	+
	<i>Cyperus rotundus</i> Linn.	Ha	-	-	+
	<i>Fimbristylis ferruginea</i> (Linn.) Vahl	Hv	+	-	+
	<i>Fimbristylis hispidula</i> (Vahl.) Kunth	Ha	+	+	+
	<i>Scleria pergracilis</i> Kunth	Ha	+	-	+
Euphorbiaceae	<i>Sapium grahamii</i> Griseb.	Hv	-	+	+
Iridaceae	<i>Gladiolus klatthianus</i> Hutch	Hv	-	-	+
Lamiaceae	<i>Hyptis spicigera</i> Lam.	Ha	+	+	+
	<i>Leucas martinicensis</i> (Jacq.) R.Br	Ha	+	-	+
	<i>Ocimum canum</i> Sims	Hv	-	-	+
	<i>Tinnea barteri</i> Gürke	Hv	-	+	+
Malvaceae	<i>Hibiscus asper</i> Hook.f.	Ha	+	+	+
	<i>Hibiscus sabdariffa</i> Linn.	Ha	-	+	+
	<i>Sida acuta</i> Burm.F	Hv	-	-	+
	<i>Sida rhombifolia</i> Linn.	Hv	-	+	+
	<i>Sida urens</i> Linn.	Hv	-	+	+
	<i>Urena lobata</i> L.	Hv	-	-	+

Annexe 11 : Richesse spécifique herbacée des différents traitements en 2010 (suite)

Oxalidaceae	<i>Biophytum petersianum</i> Klotzsch.	Ha	+	+	-
Fabaceae	<i>Alysicarpus rugosus</i> (Willd.) DC.	Hv	-	-	+
	<i>Crotalaria goreensis</i> G. et Perr.	Ha	-	+	+
	<i>Crotalaria leprieurii</i> Guill. & Perr.	Ha	+	+	-
	<i>Crotalaria senegalensis</i> Bacle	Ha	-	-	+
	<i>Desmodium ascendens</i> (Sw.) DC.	Hv	-	-	+
	<i>Indigofera dendroides</i> Jacq.	Ha	+	+	+
	<i>Indigofera tinctoria</i> Lam.	Hv	-	-	+
	<i>Indigofera secundiflora</i> Poiret	Ha	-	-	+
	<i>Indigofera stenophylla</i> Guill. & Perr.	Ha	+	-	+
	<i>Indigofera tricophoda</i> Lepr.ex Guill.& Perr.	Ha	-	-	+
	<i>Melliniella micrantha</i> Harms	Ha	-	-	+
	<i>Stylosanthes mucronata</i> Willd.	Hv	-	-	+
	<i>Tephrosia pedicellata</i> Bak	Hv	+	-	+
	<i>Vigna ambacensis</i> Welw. ex Bak	Ha	-	-	+
	<i>Vigna filicaulis</i> Hepper	Ha	-	+	-
Oenotheraceae	<i>Vigna racemosa</i> (G. Don) Hutch. & Dalz.	Hv	+	+	+
	<i>Vigna sinensis</i> (L) Savi ex Assk	Ha	-	-	+
Poaceae	<i>Zornia glochidiata</i> Reichb. Ex DC.	Ha	-	-	+
	<i>Ludwigia abyssinica</i> A. Rich.	Ha	-	-	+
	<i>Ludwigia decurrens</i> Walt.	Ha	-	-	+
	<i>Andropogon ascinodis</i> C.B.Cl.	Hv	+	+	+
	<i>Andropogon fastigiatus</i> Sw	Ha	+	+	+
	<i>Andropogon gayanus</i> Kunth	Hv	+	+	+
	<i>Andropogon pseudapricus</i> Stapf.	Ha	+	+	+
	<i>Andropogon schirensis</i> Hochst	Hv	-	-	+
	<i>Andropogon tectorum</i> Schum.	Hv	-	-	+
	<i>Brachiaria distichophylla</i> Stapf.	Ha	+	+	+
	<i>Chasmopodium caudatum</i> (Hack) Stapf.	Ha	+	-	-
	<i>Ctenium newtonii</i> Hack.	Hv	-	-	+
	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) K. Richt.	Ha	+	-	+
	<i>Diheteropogon hagerupii</i> Hitchc.	Ha	+	+	+
	<i>Elionurus elegans</i> Kunth	Hv	+	+	+
	<i>Elionurus pobengini</i> Stapf.	Hv	+	+	+
	<i>Eragrostis ciliaris</i> (All.) Vig.ex Janch.	Ha	-	+	+
	<i>Eragrostis tremula</i> (L.) Hochst ex Steud.	Ha	-	+	-
	<i>Hyparrhenia diplandra</i> (Hack.) Stapf.	Hv	+	+	+
	<i>Loudetia arundinacea</i> Hochst. ex Steud.	Hv	+	+	-
	<i>Loudetia simplex</i> (Nees) C.E Hubbard	Hv	+	+	+
	<i>Loudetia togoensis</i> (Pilger) C.E Hubbard	Ha	+	+	+
	<i>Microchloa indica</i> Druce	Ha	+	+	+

Annexe 11 : Richesse spécifique herbacée des différents traitements en 2010 (suite et fin)

Poaceae	<i>Monocymbium ceresiiforme</i> (Nees) Stapf.	Ha	+	+	+
	<i>Panicum maximum</i> Nees	Ha	+	+	+
	<i>Paspalum scrobiculatum</i> Linn.	Ha	-	-	+
	<i>Pennisetum pedicellatum</i> Trin	Ha	+	+	+
	<i>Schizachyrium exile</i> (Hochst) Pilger.	Ha	+	+	+
	<i>Schizachyrium platyphyllum</i> (Franch.) Stapf.	Hv	-	+	-
	<i>Schizachyrium sanguineum</i> (Retz) Alston	Hv	+	+	+
	<i>Sporobolus festivus</i> Hochst. ex. A. Riche	Hv	-	+	-
	<i>Tripogon minimus</i> Hochst. ex Steud.	Ha	+	-	-
	<i>Polygalaceae</i>	<i>Polygala arenaria</i> Oliv.	Ha	-	+
Rubiaceae	<i>Fadogia agrestis</i> Schweinf ex Hiern.	Hv	+	+	-
	<i>Kohautia senegalensis</i> Cham. & Schlecht.	Ha	+	+	+
	<i>Mitracarpus scaber</i> Zucc	Ha	+	+	+
	<i>Oldenlandia herbacea</i> (Willd.) Roxb.	Ha	+	+	-
	<i>Spermacoce filiformis</i> Hiern.	Ha	+	+	+
	<i>Spermacoce radiata</i> Sieber ex DC.	Ha	-	-	+
	<i>Spermacoce stachydea</i> DC.	Ha	+	+	+
Scrophulariaceae	<i>Scoparia dulcis</i> L.	Hv	+	-	-
	<i>Striga hermonthica</i> (Delile) Benth.	Ha	+	+	+
Sterculiaceae	<i>Waltheria indica</i> Linn.	Hv	+	+	+
Tiliaceae	<i>Corchorus tridens</i> Linn.	Ha	-	-	+
Vitaceae	<i>Cissus waterlotii</i> A. Chev.	Hv	+	-	+
Zingiberaceae	<i>Costus spectabilis</i> K. Schum.	Hv	+	+	+
	<i>Kaempferia aethiopica</i> Solms ex Engl.	Hv	+	+	+
Nombre d'espèces par traitement			54	59	86
Pourcentage par rapport à l'effectif total			52,43	57,28	83,5

+ = présence ; - = absence

LISTE DES PUBLICATIONS ISSUES DE LA THESE

Yaméogo T.J., Somé N.A., Hien M., 2009. Etude préliminaire à une restauration de sols dégradés en zone soudanienne du Burkina Faso. *Sécheresse*, 20 (1): 32-8.

Yaméogo J.T., Hien M., Lykke A.M., Somé A.N., Thiombiano A., 2011. Effet des techniques de conservation des eaux et des sols, zaï forestier et cordons pierreux, sur la réhabilitation de la végétation herbacée à l'Ouest du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5(1) ; 56-71.

Yaméogo T.J., Somé A.N., Lykke A.M, Hien M. et Nacro H. B. Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zaï et des cordons pierreux à l'ouest du Burkina Faso, *Tropicultura* (Soumis).