

BURKINA FASO

Unité-Progrès-Justice

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION (MESRSI)

UNIVERSITE NAZI BONI (UNB)



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER 2 EN GESTION INTEGREE DES RESSOURCES NATURELLES (GIRN)

OPTION : Système de Productions forestières

SPÉCIALITÉ : Productions Forestières

THEME

**ETUDE DES PERFORMANCES DE CROISSANCE DE *ACACIA TORTILIS* (Forssk.)
Hayne ET DE *ACACIA TUMIDA* (F.) Muell EN PLANTATION ET DE LEUR INFLUENCE
SUR LA TENEUR DE QUELQUES ÉLÉMENTS CHIMIQUES DU SOL EN ZONE
SOUDANO-SAHELIENNE, BURKINA FASO**

Présenté et soutenu par :

Ibrahim KONATE

Directeur de mémoire : **André T. KABRE**, Professeur, IDR/ UNB

Co-directeurs : **Saran TRAORE**, Maître assistante, UFR-ST/UNB
Djibril S. DAYAMBA, Chercheur, Climate Analytics/Ouagadougou

Année – Académique : 2016-2017

N°

DEDICACE

A mon père, KONATE Meyrgué Abdoulaye,
A ma mère, DIARRA Natogoma,
A mes frères et sœurs et à tous les miens,
Ce mémoire est le fruit de votre amour.
Soyez bénis

REMERCIEMENTS

Aux termes de ce travail, nous voudrions avant tout, remercier Dieu tout puissant, de nous avoir accordé la force, le courage, la volonté et la patience de le terminer.

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un projet de recherche intitulé «Restoration and reclamation of mined-out areas and other degraded lands for biodiversity conservation and rural development in Burkina Faso: a chance for local people ?» au Département Environnement et Forêts (DEF) de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA). Ce projet est financé par la Fondation Volkswagen dans le cadre de son programme "Junior-Fellowship-Livelihood, Management, Reforms and Processes for Structural Change" (Ref: 88 085 – Docteur Sidzabda Djibril DAYAMBA). Nous traduisons donc toute notre reconnaissance et gratitude à la Fondation et au Département Environnement et Forêt de l'INERA.

Nous avons bénéficié d'une aide considérable et précieuse de plusieurs personnes et structures pour la réalisation de ce mémoire de Master 2, en passant par la collecte, le traitement des données, l'analyse des résultats, corrections et impressions du document. Sans être exhaustif, il nous plaît de remercier sincèrement :

- Professeur André T. KABRE, Directeur de mémoire, qui a bien voulu nous accueillir dans son laboratoire et diriger notre travail. Merci pour votre apport dans l'élaboration de ce document.
- Docteur Mipro HIEN, coordonnateur des Masters à l'Institut de Développement Rural (IDR) qui a fourni un grand effort pour l'accomplissement des modules et leurs évaluations dans les meilleurs délais. Merci également pour vos conseils et votre considération envers les étudiants.
- Docteur Saran TRAORE, notre co-directeur de mémoire, qui a codirigé ce mémoire. Merci pour la patience, l'encouragement et l'œil critique qui nous ont été très précieux pour structurer le travail et améliorer sa qualité.
- Docteur Sidzabda Djibril DAYAMBA, notre co-directeur mémoire pour avoir encadré ce travail et guidé nos premiers pas dans la recherche depuis l'Ingéniorat. Nous vous en sommes profondément reconnaissants pour le grand intérêt accordé à notre travail et pour votre implication très active qui a permis l'aboutissement à ce mémoire. Votre appui a été considérable dans le traitement des données et la rédaction malgré votre emploi du temps très chargé. Votre simplicité, votre sens du travail bien fait, nous ont particulièrement marqué depuis le premier contact. Nous avons beaucoup appris avec vous et nous ne saurions en quelques lignes vous faire preuve de notre profonde reconnaissance.
- Docteur Louis Sawadogo, Directeur de Recherche au DEF/INERA, pour sa précieuse contribution dans la coordination et la supervision des activités du projet.

- Docteur Ollo Théophile DIBLONI, Chef du Département Environnement et Forêts de l'INERA, pour nous avoir accueillis dans sa structure.
 - Le corps enseignant et administratif de l'Université Nazi BONI, pour tous les enseignements reçus tout au long des années de formation.
 - L'ensemble du personnel de l'INERA à Saria pour leur bonne collaboration; nous pensons notamment à Monsieur Modeste MEDA, Technicien de recherche pour son soutien technique et son sens de l'humour stimulant le courage et dissipant la fatigue sur le terrain; François KABORE, Technicien de recherche et Koudous KABORE qui ont grandement contribué à la réalisation des travaux de test de plantation; M. Bassirou KABORE pour l'entretien des plants sur le terrain; Lassina SANOU, Ingénieur de recherche et Doctorant qui nous a énormément soutenu.
 - Le personnel, collègues et cadres du Ministère de l'Environnement, de l'Economie Verte et du Changement Climatique (MEEVCC), particulièrement Docteur Augustin KABORE, Inspecteur des Eaux et Forêts/Expert en environnement au Centre national d'alerte précoce au Premier Ministère ; Madame Isabelle Valérie DAHO/OUEDRAOGO Inspectrice des Eaux et Forêts/Directrice de l'Intendance et de Logistique à la Direction Générale des Eaux Forêts ; Idrissa OUEDRAOGO Inspecteur des Eaux et Forêts ; Issouf SAWADOGO doctorant et Inspecteur des Eaux et Forêts et David MILLOGO, Inspecteur des Eaux et Forêts. Merci pour votre disponibilité et votre soutien indéfectible quand nous en avons eu besoin.
- Mes camarades et promotionnaires de Master 2, particulièrement, Abdoulaye TYANO, Ardjata SONTIE, René YAOVI, Brama OUATTARA, Bassiriki OUATTARA. A tous ceux dont les noms n'apparaissent pas ici, ce silence n'enlève rien à l'estime que je leur porte.



RESUME

Les ressources naturelles telles que la terre arable et les végétaux sont capitales pour les populations locales, notamment celles du Burkina Faso. Les activités anthropiques comme l'agriculture, la coupe du bois, l'élevage et l'exploitation minière sont les principaux facteurs de dégradation massive de ces ressources. Les formations végétales qui sont pourvoyeuses de biens et de services et qui contribuent fortement au maintien et à la bonification des qualités agronomiques des sols sont considérablement affectées par ces activités. Leur réhabilitation devient alors une nécessité pour améliorer la santé de l'écosystème et des moyens d'existence des populations locales. La présente étude avait pour objectif, d'évaluer en plantation, la contribution de *Acacia tortilis* et de *Acacia tumida* à la restauration des sols dégradés. La démarche méthodologique a été effectuée en 2 phases. Premièrement, un suivi des plants des 2 espèces a été effectué sous 4 traitements de fumure organique (F0 constituant le traitement où les plants ne reçoivent pas de fumure ; F0,5 où les plants reçoivent 0,5 kg de fumure par poquet ; F1 où les plants reçoivent 1 kg de fumure par poquet et F1,5 où les plants reçoivent 1,5 kg de fumure par poquet) de 7 à 358 jours. Ce suivi a tenu compte des paramètres tels que le statut vivant et les mesures du diamètre au collet et de la hauteur et il a permis d'évaluer le taux de survie (TS) et le taux de croissance relative en diamètre (TCRD) et en hauteur (TCRH). Deuxièmement, un échantillonnage du sol à 2 niveaux (au pied et à 1 mètre du plant) des plants des espèces a été effectué après 2 ans et demi de plantation. Cet échantillonnage a permis d'estimer sous l'effet de la distance de mesure et des 4 traitements de fumure organique, les changements ou non de teneur en certains éléments chimiques (MO, C, N total et P assimilable) du sol induits par ces deux espèces. Après 358 jours de suivi, les résultats ont montré que chacune des deux espèces a eu un taux de survie supérieur à la moyenne (50%) : 94% pour *A. tortilis* et 58% pour *Acacia tumida*. Le taux croissance relative est substantiel à la fois pour le diamètre et la hauteur pour chacune des 2 espèces : pour *A. tumida* TCRD = 1,42 mm/mois et TCRH = 1,79 mm/mois et pour *A. tortilis* TCRD = 0,78 mm/mois et TCRH = 0,75 mm/mois. La dose de fumure a montré un effet significatif sur la croissance relative en diamètre et en hauteur pour *A. tortilis* avec les fortes doses (F1 et F1,5) qui ont donné de meilleures TCRD et TCRH. Pour *A. tumida*, par contre, la dose de fumure n'a eu aucun effet significatif. Après 2 ans et demi de plantation, pour *A. tumida* on a observé que seule la dose de fumure a un effet significatif sur la teneur en 2 éléments chimiques (P ass et N total). Et c'est pratiquement la plus forte valeur de dose de fumure (F1,5) qui a induit des teneurs en P assimilable et en N total plus élevées par rapport aux faibles doses. Par contre pour *Acacia tortilis*, il n'y avait aucune influence significative. On pourrait recommander ces 2 espèces dans les initiatives de réhabilitation, mais il serait intéressant de poursuivre un tel essai pour évaluer si des effets plus prononcés ne s'observeront pas avec l'âge des plants.

Mots clés: Dégradation des terres ; Espèces d'Acacia; Formation végétales ; Propriétés chimiques du sol ; Restauration.

ABSTRACT

Natural resources such as arable land and plants are crucial for local populations, especially those in Burkina Faso. Human activities such as agriculture, logging, livestock and mining are the main factors of massive degradation of these resources. Plant formations that provide goods and services and strongly contribute to maintaining and improving the agronomic qualities of soils are significantly affected by these activities. Their rehabilitation becomes a necessity to improve the health of the ecosystem and the livelihoods of local populations. The objective of this study was to evaluate the contribution of *Acacia tortilis* and *Acacia tumida* to the restoration of degraded soils. The methodological approach was carried out in two phases. First, a follow-up of the plants of the 2 species was carried out under 4 treatments of organic manure (F0 constituting the treatment where the plants do not receive manure, F0,5 where the plants receive 0,5 kg of manure per poquet; the plants receive 1 kg of manure per poquet and F1.5 where the plants receive 1.5 kg of manure per poquet) from 7 to 358 days.. This monitoring took into account parameters such as living status and collar diameter and height measurements. These parameters made it possible to evaluate the survival rate (TS) and the relative growth rate in diameter (TCRD) and in height (TCRH). Secondly, a 2-stage soil sampling (at the foot and 1 meter from the plant) of the species' seedlings was carried out after 2.5 years of planting. This sampling made it possible to estimate, under the effect of the measurement distance and the 4 treatments of organic manure, the changes or not of the content of certain chemical elements (MO, C, N total and P assimilable) of the soil induced by these two species. After 358 days of follow-up, the results showed that each of the two species had a higher than average survival rate (50%): 94% for *A. tortilis* and 58% for *Acacia tumida*. The relative growth rate is substantial for both diameter and height for each of the two species: for *A. tumida* TCRD = 1.42 mm / month and TCRH = 1.79 mm / month and for *A. tortilis* TCRD = 0, 78 mm / month and TCRH = 0.75 mm / month. The manure dose showed a significant effect on relative growth in diameter and height for *A. tortilis* with high doses (F1 and F1.5) that gave better TCRD and TCRH. For *A. tumida*, however, the manure dose had no significant effect. After 2.5 years of planting, for *A. tumida* it was observed that only the manure dose had a significant effect on the content of 2 chemical elements (P ass and N total). And it is practically the highest fertilization dose value (F1.5) that induced higher levels of available P and total N compared to low doses. By cons for *Acacia tortilis*, there was no significant influence. Both species could be recommended for rehabilitation, but it would be interesting to continue such a trial to assess whether more pronounced effects will not be observed with the age of the plants.

Key words: Natural vegetation; Land degradation; Acacia species; Soil chemical properties; Restoration.

SIGLES ET ABREVIATIONS

CMA : Champignon Mycorhizien à Arbuscule

CNSF : Centre National de Semences Forestières

CNRST : Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique

DEF : Département, Environnement et Forêts

ICRISAT : International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. En Français: Institut International de Recherche sur les Cultures des zones Tropicales Semi-Arides

INERA : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

MEEVCC : Ministère de l'Environnement, de l'Economie Verte et du Changement Climatique

MED : Ministère de l'Economie et du Développement

MEDD/ R-PP : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable/Plan de Préparation à la REDD (Réduction des Emissions dues à la Déforestation et à la Dégradation des forêts)

MEF : Ministère de l'Economie et des Finances

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

SER : Society for Ecological Restoration. En français: Société Internationale pour la Restauration Ecologique

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

TABLE DES MATIÈRES

DEDICACE	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME	v
ABSTRACT	vi
SIGLES ET ABBREVIATIONS	vii
TABLE DES MATIÈRES	viii
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DE FIGURES	x
LISTE DES PHOTOS	x
TABLE DES ANNEXES	xi
INTRODUCTION	1
<i>CHAPITRE I : GENERALITES</i>	4
I. Facteurs de dégradation et de perturbation des terres	4
I.1. Feux de brousse	4
I.2. Pâturage des animaux	5
I.3. Coupe de bois	5
I.4. Exploitation minière	6
II. Concepts de restauration des terres dégradées	7
II.1. Définitions et concepts utilisés en restauration écologique	7
II.2. Restauration écologique des sols dégradés	8
II.3. Restauration par reforestation/afforestation	8
II.4. Aspects socio-économique et écologique des plantations d'arbres	8
III. Effets des arbres sur fonctionnement du sol	9
III.1. Paramètres physiques du sol	9
III.2. Paramètres chimiques du sol	10
III.3. Paramètres biologiques du sol	11
IV. Contraintes liées à la restauration des terres dégradées	12
IV.1. Contraintes physiques du sol	12
IV.2. Contraintes chimiques du sol	12
IV.3. Contraintes biologiques du sol	12
IV.4. Contraintes liées à la méconnaissance de l'écologie des espèces locales	13
<i>CHAPITRE II : SITE DE L'ETUDE</i>	14
I. Milieu biophysique	14
I.1. Bref historique et situation géographique du site d'étude	14
I.2. Climat	14
I.2.1. Pluviométrie	15
I.2.2. Température, humidité relative et vents	16
I.3. Végétation	16
I.4. Sols	17
II. Milieu humain	17

CHAPITRE III : DEMARCHE METHODOLOGIQUE	19
I. Première étude : Capacité de survie et performance de croissance morphologique de <i>Acacia tortilis</i> et <i>Acacia tumida</i> en plantation	19
I-1. Espèces étudiées	19
I-2. Traitement des semences et production des plants en pépinière	20
I-3. Dispositif expérimental et transplantation	20
I-4. Compostage de la fumure organique utilisée	21
I.4.1. Taille de la fosse	21
I.4.2. Elaboration du compost	22
I-5. Collectes et analyses des données	22
II. Deuxième étude : Influence des 2 essences d'Acacia sur la teneur en quelques éléments chimiques du sol	23
II.1. Eléments chimiques étudiés	23
II.1.1. Matière organique (MO) et carbone (C)	23
II.1.2. Azote (N)	24
II.1.3. Phosphore (P)	25
II.2. Collectes et analyses des données	25
II.2.1. Echantillonnage du sol	25
II.2.2. Analyse chimique du sol	26
II.2.3. Analyse de données	26
CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS	28
I. Première étude : Capacité de survie des 2 espèces d'Acacia et leur performance de croissance sous effet de la dose de fumure	28
I.1. Résultats	28
I.1.1. Structure du peuplement de chaque espèce	28
I.1.1.1. Taux de survie des plantules des deux espèces après 358 jours de suivi	28
I.1.1.2. Distribution des paramètres dendrométriques des plantules après 358 jours de plantation	28
I.1.2. Taux de Croissance relative du diamètre (TCRD) et de la hauteur (TCRH) des plantules	29
I.1.2.1. Taux de croissance relative du diamètre au collet des plantules	29
I.1.2.2. Taux de croissance relative de la hauteur des plantules	29
I.1.2.3. Effet des doses de fumure sur les paramètres mesurés des plantules : le TCRD et le TCRH	29
I.2. Discussion	31
II. Deuxième étude : Influence des 2 espèces d'Acacia en plantation sur la teneur en quelques éléments chimiques du sol	33
II.1. Résultats	33
II.1.1. Effet de la distance de mesure et de la dose de fumure sur la teneur en MO, en C, en P ass et en N pour <i>A. tumida</i>	33
II.1.2. Effet de la distance de mesure et de la dose de fumure sur la teneur en matière MO, en C, en N et en P. ass pour <i>A. tortilis</i>	34
II.2. Discussion	34
CONCLUSION, RECOMMANDATION ET PERSPECTIVES	37
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	39
WEBOGRAPHIE	51
ANNEXE	I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Variation du nombre des plantules par espèce à 7 et 358 jours après transplantation.....	28
Tableau 2 : Paramètres dendrométriques des plantules par espèce à 7 et 358 jours après transplantation	28
Tableau 3 : Effet de la dose de fumure sur le Taux de croissance relative en diamètre et en hauteur pour <i>Acacia tortilis</i>	30
Tableau 4 : Effet de la dose de fumure sur le Taux de croissance relative en diamètre et en hauteur pour <i>Acacia tumida</i>	30
Tableau 5 : Effet de la distance de mesure et de la dose de fumure sur la teneur en MO, en C, en P ass et en N pour <i>A. tumida</i>	33
Tableau 6: Effet de la distance de mesure et de la dose de fumure sur la teneur en MO, en C, en P ass et en N pour <i>A. tortilis</i>	34

LISTE DE FIGURES

Figure 1: Localisation du site d'étude	14
Figure 2 : Pluviosité mensuelle et nombre de jours de pluies à Saria en 2017.....	15
Figure 3 : Pluviosité et nombre de jours de pluies par an à Saria de 2008 à 2017	16
Figure 4: Effet des doses de fumure sur le TCR.D et TCR.H pour <i>Acacia tortilis</i>	30
Figure 5 : Effet des doses de fumure sur le TCRD et TCRH pour <i>Acacia tumida</i>	31
Figure 6 : Effet de dose de fumure sur la teneur en P ass et en N pour <i>A. tumida</i>	34

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Traitements et semis de semences	20
Photo 2 : Vue des plants dans le dispositif expérimental	21
Photo 3: Vue de la mesure du diamètre au collet et de la hauteur des plantules.....	23
Photo 4 : Aperçu de <i>Acacia tumida</i> en croissance	29

TABLE DES ANNEXES

Annexe: Fiche de suivi des essais de plantation des espèces	II
--	-----------

INTRODUCTION

Les ressources naturelles telles que l'eau, les sols et les ressources végétales sont depuis des siècles les principaux moyens de satisfaction des besoins de subsistance et de développement socio-économique en Afrique sub-saharienne en général (Shackleton, 2000; Kristensen et Balslev, 2003) et au Burkina Faso en particulier. Elles subissent une pression excessive due à une population humaine croissante, des mauvaises pratiques de gestion des formations végétales naturelles et des espaces agricoles tels que le surpâturage, la coupe anarchique des arbres, les feux incontrôlés et récurrents, l'exploitation minière, combinés aux effets néfastes des variations des facteurs climatiques qui sont considérés comme les principaux facteurs explicatifs de leur dégradation (Butaré *et al.* 2004 ; Sawadogo 2009 ; Dayamba, 2010 ; Sanou, 2013 ; Konaté, 2015). Cette dégradation provoque la réduction du potentiel productif des ressources naturelles et l'amenuisement progressif de la diversité biologique locale, l'accélération du rythme de l'érosion des sols.

Les effets extrêmes de la dégradation sont l'encrouement des sols, l'apparition et l'extension des sols dénudés impropres aux cultures et aux activités pastorales. Par conséquent, la restauration de ces écosystèmes dégradés devient un enjeu en termes de préservation de la biodiversité et des ressources naturelles (ONG REACH, 2009) et dont le principal objectif serait écologiquement d'accélérer le processus de succession naturelle, la réduction du taux d'érosion des sols, l'accroissement de la fertilité et de la productivité biologique des sols (Lamb *et al.*, 2005). Cette restauration serait aussi un important levier pour la réduction de la pauvreté à travers la génération de revenus pour les populations riveraines. Parmi les techniques de restauration, la restauration du couvert végétal par les plantations artificielles apparaît être le moyen le plus prometteur et durable grâce à l'aptitude de certaines espèces végétales à améliorer le stock d'azote de la communauté plante/sol (Debell *et al.*, 1985 ; Tordoff *et al.*, 2000).

Les programmes de reboisement et/ou de restauration des terres dégradées occupent une place de choix dans les politiques de lutte contre la dégradation des ressources naturelles en général et contre la progression de la désertification dans les pays sahéliens en particulier (Bognounou, 2009). Des plans grandioses ont été proposés à cet effet pour influencer le climat, par le biais des plantations artificielles notamment en monocultures à grande échelle dans les zones dégradées (Alem & Pavlis, 2012 ; Alem & Woldemariam, 2009). Selon ces auteurs, les espèces exotiques telles que *Eucalyptus* spp., *Pinus* spp., etc. sont les plus usitées soit en monoculture ou en association avec des espèces fixatrices d'azote (Debell *et al.*, 1985 ; Dan *et al.*, 2003). Les

plantations notamment de *Eucalyptus* spp, sont reconnues pour leur capacité à favoriser la régénération des espèces locales et à accroître ainsi la diversité spécifique (Alem *et al.*, 2015 ; Alem & Pavlis, 2012; Alem & Woldemariam, 2009; Feyera & Demel, 2001 ; Feyera *et al.*, 2002), à restaurer la fertilité des sols et à améliorer des conditions microclimatiques (Alem *et al.*, 2015 ; Singh *et al.*, 2002). Quoique les graminées et les légumineuses soient les matières végétales les plus efficaces pour lutter contre l'érosion dans les premiers stades de la remise en état des terres, les arbres, en raison de leurs profondes racines, sont capables d'ameublir le sol compacté à de plus grandes profondeurs que les graminées (Singh *et al.*, 2003). Cependant, chaque espèce végétale a ses caractéristiques intrinsèques et capacités à coloniser un espace donné et à y croître. Ces caractéristiques déterminent ainsi la valeur et le rôle dans la stabilisation et la capacité d'enrichir un sol donné de cette espèce.

Dans la plupart des pays de la zone intertropicale, jusqu'à une époque donnée, l'effort de la recherche était beaucoup porté sur la sylviculture des peuplements plantés constitués d'essences exotiques en monoculture à croissance dite rapide (Alem & Pavlis, 2012; Alem & Woldemariam, 2009). Cependant, malgré de multiples efforts de recherche sur les formations végétales naturelles, et une littérature de plus en plus abondante sur l'écologie et la dynamique des formations savanicoles soumises à des facteurs de perturbation (Savadogo, 2007; Zida, 2007; Bognounou, 2009; Savadogo, 2009 ; Dayamba, 2010; Sanou, 2013 ; Douamba, 2014), une compréhension claire de l'écologie et du processus de régénération et des options d'aménagement, restent encore à élucider pour de nombreuses espèces ligneuses prises individuellement. Dans le contexte actuel de la raréfaction et d'une demande croissante de produits végétaux, il est impératif que les programmes de restauration et de plantations ne se limitent pas seulement aux espèces exotiques mais qu'elles inclussent aussi les espèces locales (Bognounou, 2009). Il importe donc de connaître les performances de colonisation et d'établissement des espèces végétales locales pour leur introduction sur des sites particuliers ou pouvoir judicieusement assister aux initiatives de la restauration assistée de leur peuplement. C'est dans cette optique que la présente étude intitulée « étude des performances de croissance de *Acacia tortilis* (Torssk.) hayne et de *Acacia tumida* (f.) muell en plantation et de leur influence sur la teneur de quelques éléments chimiques du sol en zone soudano-sahélienne, Burkina Faso » a été conduite pour appréhender l'aptitude de certaines espèces ligneuses à coloniser et à s'établir dans un espace donné et leur rôle potentiel dans la restauration des propriétés physico-chimiques des sols dégradés. Elle s'intègre dans un projet de recherche sur la "Restauration et réhabilitation de terres post-activités minières et autres terres dégradées pour la conservation de la biodiversité et le développement rural au Burkina Faso : une chance pour

les populations locales?" au Département Environnement et Forêts (DEF) de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA).

L'objectif général était d'étudier la capacité de 2 espèces d'Acacia, telles que *A. tortilis* (Forssk.) Hayne et *A. tumida* (F.) Muell, à restaurer les terres dégradées.

Spécifiquement, Il s'est agi :

- d'évaluer la capacité de survie des 2 espèces et leur performance de croissance sous l'effet de différentes doses de fumure en plantation ;
- d'estimer l'influence de ces 2 espèces sur la teneur en certains éléments chimiques du sol.

Pour mener à bout cette étude, des hypothèses ont été émises.

Hypothèse 1 : Les espèces en plantation sur une terre dégradée, ont une capacité de survie appréciable et peuvent bien croître avec ou sans effet de la fumure appliquée ;

Hypothèse 2 : Les espèces en plantation peuvent influencer la teneur en certains éléments chimiques sol qui contribuent à améliorer la fertilité du sol.

Le présent mémoire qui fait la synthèse de nos activités de recherche comporte trois (4) chapitres:

- le premier chapitre fait la généralité sur les concepts clés de l'étude ;
- le deuxième chapitre décrit le site d'étude ;
- le troisième chapitre rend compte des méthodes de recherche menées ;
- enfin le quatrième chapitre présente les résultats et discussions.

CHAPITRE I : GENERALITES

I. Facteurs de dégradation et de perturbation des terres

La perturbation se définit comme un événement destructeur qui affecte la structure de l'écosystème, de la communauté ou de la population et/ou modifie les ressources ou l'environnement physique à n'importe quelle échelle spatiale ou temporelle (Rykiel, 1985; White et Pickett, 1985; Turner *et al.*, 2003; Simula, 2009). Dans la zone soudano-sahélienne les principales perturbations dues à l'homme sont notamment les feux de brousse, la pâture, la coupe du bois (pour l'énergie et l'agriculture) et de nos jours, l'exploitation minière artisanale et industrielle.

I.1. Feux de brousse

Le feu est une force sélective environnementale majeure qui influe sur les communautés végétales dans de nombreuses parties du monde (Staden *et al.*, 2000). C'est une caractéristique très répandue et récurrente des savanes africaines et contribue largement aux changements dans la composition des communautés végétales (Danthu *et al.*, 2003).

En général les feux tardifs qui surviennent en pleine ou en fin de saison sèche (janvier - avril) sont ceux qui impactent négativement les formations végétales contrairement aux feux précoces (octobre - décembre) dits feux d'aménagements (Zida, 2007; Savadogo, 2007; Savadogo *et al.*, 2008; Dayamba, 2010). En effet, ces feux tardifs qui surviennent au moment où la biomasse herbacée est sèche, sont féroces et peuvent être dévastateurs pour les espèces ligneuses qui poussent ou qui régénèrent (Goldammer, 1990; Gillespie *et al.*, 2000; Rakotoarimanana *et al.*, 2008; Dayamba, 2010). La haute intensité des feux peut également créer des conditions de pH d'osmose qui sont défavorables à la germination de certaines espèces (Keeley & Fotheringham, 2000). Les espaces dénudés après le passage des feux peuvent être sujets à la sécheresse, car l'exposition accrue peut conduire à l'évaporation élevée et donc une disponibilité réduite de l'humidité à des profondeurs du sol où a lieu la germination; donc ces espaces dénudés peuvent contribuer à un taux d'extinction élevé (Zida, 2007).

Les feux de surface freinent également la régénération sexuée en détruisant les semences contenues dans la litière. De même, les apex des grands arbres sont brûlés lors des feux tardifs intenses à hautes flammes, entraînant une modification considérable de leur port et les ramenant à l'état buissonnant par mort des troncs (Gignoux *et al.*, 1997). La croissance des individus est

ainsi retardée par le fait qu'ils sont maintenus à l'état buissonnant dans les formations naturelles subissant des feux récurrents (Rietkerk *et al.*, 1998). Les feux fréquents, en dénudant le sol et en tuant les micro-organismes, favorisent l'encroustement ainsi que les érosions hydrique et éolienne (Mills & Fey, 2004). Le feu s'intègre dans le cycle de la saison sèche aussi sûrement que les pluies en saison pluvieuse (Bouxin, 1975) dans la savane. En effet, cet environnement a été, depuis des millénaires, soumis aux feux de brousse d'origine anthropogénique (Sawadogo, 2009). Environ 25 à 50% des savanes soudaniennes brûlent chaque année (Delmas *et al.*, 1991); toute la zone brûle tous les 2-3 ans principalement en raison des activités humaines (Menaut & Solbrig, 1991).

I.2. Pâturage des animaux

Selon Hountondji (2008), les animaux sont une des composantes majeures du système de production alimentaire dans les régions arides, semi-arides et subhumides d'Afrique de l'Ouest. Conséquence directe de la croissance démographique humaine, on note une augmentation du cheptel. Cette augmentation du cheptel a des répercussions sur les pâturages et les formations végétales. Sawadogo (2009) affirme que la quantité de bétail, la nature des troupeaux (bovins, ovins, caprins...), le temps mis et la fréquence de pâture ainsi que les pratiques pastorales (émondage, collecte de fourrage) sont des facteurs capitaux qui jouent sur la dynamique des végétations pâturées. Ainsi, une surcharge de bétail peut conduire à une dégradation de la végétation et même à une dénudation du sol (Keya, 1998) tandis qu'une charge modérée ou une absence de pâture favoriserait l'installation d'une savane arborée à boisée (Watkinson et Ormerod, 2001). Les difficultés de régénération de certaines espèces fourragères telles que *Pterocarpus erinaceus* Poir. et *Azelia africana* Smith ex Pers. sont en grande partie attribuables à l'émondage et au broutage sévères et fréquents qui entravent la production de graines et donc l'apparition de jeunes plants (Bognounou *et al.*, 2008; Ouédraogo-Koné *et al.*, 2008; Savadogo et Elfving, 2007). Du surpâturage, il en résulte une dégradation non seulement du couvert végétal du sol mais également une forte réduction de la biodiversité (Hountondji, 2008).

I.3. Coupe de bois

Le bois est utilisé comme source d'énergie et comme bois d'œuvre. Dans les pays de l'Afrique au Sud du Sahara, le bois d'énergie a toujours constitué la principale source d'énergie domestique en milieu rural et urbain (Ouédraogo *et al.*, 2006). En effet, 89% de la population utilise de la biomasse traditionnelle pour cuire ses aliments (climatdeveloppement.org, consulté

le 02 mai 2018). Au Burkina Faso une bonne partie des besoins énergétiques des ménages est assurée par le bois de chauffe et on estime que plus de 90% du bois utilisé dans le pays sert de bois de chauffe. En milieu rural, il est la principale source d'énergie disponible, représentant plus de 80% de l'énergie consommée au niveau national (Ouattara *et al.*, 2010).

L'exploitation anarchique du bois endommage fortement l'ensemble des ressources naturelles. En plus de la coupe pour le bois d'énergie, les forêts sont généralement détruites aussi pour les besoins agricoles. En Afrique de l'Ouest, les politiques et les pratiques coloniales maintenues après l'indépendance ont encouragé l'expansion et l'intensification des cultures d'exportation comme le coton, le café et le cacao, ainsi que le déboisement, pour récupérer des terres. Ces actions ont entraîné une conversion des forêts en exploitations agricoles, ainsi qu'une forte fragmentation et dégradation des zones boisées. Aujourd'hui, selon les estimations, la couverture forestière de la région ne représente pas plus de 20 % de sa superficie originale, ce qui la met au rang des écosystèmes tropicaux les plus dégradés de la planète (UICN, 2005). La pression agro-démographique sur les terres et les techniques culturales sont des facteurs de dégradation des écosystèmes forestiers. Autant les superficies sont emblavées à des fins agricoles, autant elles sont découvertes, entraînant des changements des écosystèmes (MEDD et MEF, 2010). Selon le MEDD (2012), les superficies agricoles ont nettement augmenté surtout avec une croissance des cultures de rente comme le coton qui occupe 10 à 15% des terres cultivables du pays. Les superficies occupées par les cultures de rente ont eu une croissance moyenne de 16,31% entre 2003 et 2008. La culture entraîne nécessairement une simplification de l'écosystème, une réduction de production de la biomasse, en particulier des litières et, par conséquent, la réduction du taux de matières humiques du sol et les activités biologiques de la mésofaune. Il s'ensuit une augmentation des risques de ruissellement, d'érosion et de lixiviation des éléments nutritifs (Roose *et al.*, 1995). Mis à part l'effet direct de l'agriculture, l'extension des terres agricoles va accentuer également la pression pastorale sur les pâturages et autres formations naturelles restantes (Sawadogo, 2009).

I.4. Exploitation minière

Au Burkina on distingue trois types d'exploitation minière : l'exploitation minière industrielle, l'exploitation minière artisanale semi mécanisée et l'exploitation minière artisanale répandue dans plusieurs provinces du pays (Code minier, 2015). La prolifération des sites d'exploitation artisanale est la plus significative sur toute l'étendue du territoire. Selon le MEDD/R-PP (2012),

chaque année 5 à 10 nouveaux sites d'orpaillage sont créés et la majorité s'étend sur une superficie d'au moins 1,26 km², soit une emprise d'environ 300 km² sur le couvert végétal.

L'activité minière contribue substantiellement à l'économie de l'Etat et des populations locales. Cependant qu'elle soit industrielle ou artisanale, les impacts négatifs sur l'environnement sont considérables. A cause des équipements et des produits chimiques tels que le cyanure et le mercure utilisés, ses impacts se traduisent par la dégradation des sols, la pollution des eaux de surface, la déforestation et l'émission de gaz à effet de serre (mines industrielles) (Konaté, 2015).

II. Concepts de restauration des terres dégradées

II.1. Définitions et concepts utilisés en restauration écologique

L'écologie de la restauration se propose d'étudier les actions nécessaires pour rétablir les écosystèmes dégradés (Sanou, 2013). La restauration écologique est «le processus qui consiste à aider au rétablissement d'un écosystème qui est dégradé, endommagé ou détruit» (SER, 2004). La Société pour la Restauration Ecologique (SER) donne une définition générale permettant une large gamme d'approches de la restauration bien qu'elle donne une importance historique au concept d'autoréparation. L'enjeu n'est pas seulement de réparer car restaurer selon Barnaud et Chapuis (2004), signifie un changement voulu en le freinant, l'accéléralant, le renversant, l'altérant ou l'arrêtant. Pour Cairns (1988), la restauration écologique revient à imiter un système en bonne santé et intégré dans le paysage naturel environnant. Il ajoute que les caractéristiques structurelles et fonctionnelles reconstituées ou substituées doivent être de plus grandes valeurs sociales, économique, écologique que celles de l'état perturbé ou modifié. La restauration englobe différents termes d'après Aronson et al. (1995):

✓ La restauration stricto sensu est définie comme le rétablissement des fonctions de l'écosystème ainsi que de son intégrité biotique préexistante en termes de composition spécifique et de structure des communautés par rapport à son écosystème d'origine. Cette dernière s'avère en réalité purement théorique car la dynamique d'un écosystème est en constante évolution et ne peut pas être strictement identique à celle du passé. De ce fait, la restauration lato sensu va s'efforcer de stopper la dégradation d'un écosystème présentant encore un niveau suffisant de résilience, pour le replacer sur sa trajectoire d'avant la perturbation.

✓ La réhabilitation est utilisée lorsque la pression exercée sur l'écosystème a dépassé le seuil de résilience naturelle et que l'écosystème a été dévié de sa dynamique naturelle. Dans ce

cas, une intervention humaine forte est nécessaire pour que l'écosystème retrouve rapidement ses fonctions endommagées et se replace sur sa trajectoire naturelle.

✓ La réaffectation consiste à transformer un écosystème vers un nouvel usage différent de ses fonctions d'origine.

II.2. Restauration écologique des sols dégradés

Le sol étant le support des écosystèmes, il est directement exposé aux agressions anthropiques et aux perturbations naturelles. La fertilité, la productivité, la durabilité des ressources et la qualité environnementale sont les principales bases des définitions historiques de la qualité des sols. L'altération de l'intégrité des sols et de ses fonctions peut alors affecter le fonctionnement de l'écosystème dans sa totalité.

La restauration d'un sol tend vers le retour de sa qualité d'avant perturbation (Guénon, 2011). De nombreuses techniques de restauration et de réhabilitation des sols ont été décrites précédemment par des auteurs (Douamba, 2007 ; Roose, 2007 ; Bognounou, 2009 ; Salawu, 2009 ; Conedera *et al.*, 2010 ; Savadogo *et al.*, 2011 ; Yaméogo, 2012 ; Avakoudjo *et al.*, 2013). Ces techniques sont entre autres le zaï agricole et forestier, les cordons pierreux, les demi-lunes, la jachère, la mise en défens, le paillage, les haies vives, les diguettes antiérosives, le sous-solage, la plantation d'arbres (reforestation/afforestation).

II.3. Restauration par reforestation/afforestation

Selon Savadogo *et al.* (2011), la reforestation/afforestation est une pratique qui consiste à planter des arbres sur des superficies considérées dégradées. Lorsque la plantation est effectuée dans le but de reconstituer une forêt dégradée, il s'agit de reforestation. Lorsqu'elle est effectuée en zone vierge, il s'agit d'afforestation.

La mise en œuvre nécessite une bonne production des plants en pépinière (les expériences de semis directs n'étant pas concluant dans la zone Soudano-sahélienne) et surtout un bon choix des espèces en fonction du site choisi (adaptation de l'espèce au site) pour les plantations (Kaboré, 2002).

II.4. Aspects socio-économique et écologique des plantations d'arbres

Les plantations peuvent jouer un rôle clé dans la restauration des écosystèmes forestiers et la réalisation des objectifs socio-économiques à court terme en protégeant la surface du sol contre l'érosion (Singh *et al.*, 2002). Par ailleurs, les plantations d'arbres exercent des effets catalytiques en modifiant les conditions de microclimat des sous-bois (à savoir augmentation de l'humidité du sol, température réduite, etc.). Ces plantations permettent également le

développement de la litière et les couches d'humus qui se produisent en début d'années pour la croissance des plantations dans les écosystèmes dégradés par les activités anthropiques (Singh *et al.*, 2002). La restauration des écosystèmes par plantation peut protéger les berges contre les effets des inondations et servir de refuges aux animaux lors des intempéries climatiques.

Dans la zone sahélienne africaine notamment, les arbres et arbustes adaptés aux divers biotopes jouent un rôle important dans la vie quotidienne et dans la conservation ou la reconstitution de l'équilibre écologique face à l'extension du désert (Berget et Ribot, 1990; Kristensen et Balslev, 2003). Ils fournissent du bois d'œuvre, des aliments, de l'énergie, des médicaments, divers autres produits et une part essentielle du fourrage pour le bétail. Ils protègent et améliorent les cultures agricoles et la qualité de la vie dans les villages. Ils procurent du travail et des revenus, une protection contre le soleil, l'érosion, le vent, la poussière. Ils embellissent les paysages, les agglomérations et les routes. Ils constituent un des éléments typiques du patrimoine culturel et de l'espace vital africain (von Maydell, 1992).

III. Effets des arbres sur fonctionnement du sol

De nombreux auteurs tels que Binkley (1995), Binkley et Giardina (1998) et Bayoulou (2013) ont démontré que de l'arbre exerçaient divers effets sur son environnement immédiat au sein d'un écosystème. De nombreuses interactions ont lieu entre le sol et l'arbre affectant les paramètres physiques tels que le mésoclimat, le pédoclimat, les paramètres biologiques directement par prélèvements/restitutions ou indirectement par le contrôle des populations microbiennes et les paramètres chimiques tels que la composition des solides, des solutions du système sol (Bayoulou, 2013).

III.1. Paramètres physiques du sol

L'arbre agit de diverses manières sur les propriétés physiques du sol. Par l'ombrage qu'il offre, l'arbre réduit l'intensité du rayonnement solaire pénétrant jusqu'au sol. Belsky *et al.* (1989) établissent une réduction du rayonnement solaire de 45 à 65 % sous *Acacia tortilis* et *Adansonia digitata*. L'ampleur de cette réduction varie en fonction des dimensions de la couronne, de la phénologie de l'arbre et de la densité du feuillage (Bremen et Kessler, 1995).

La réduction du rayonnement sous la strate des houppiers, de la vitesse du vent et l'augmentation de l'humidité de l'air par la transpiration des arbres se combinent pour réduire l'évapotranspiration potentielle (ETP) dans la zone sous couvert d'arbres (Jaffrain, 2006). Des études en savane indiquent que l'ombre des arbres accroît le rendement du tapis herbacé sous-

jaçant et entraîne un développement plus long de leur cycle végétatif (Weltzin et Coughenour, 1990).

L'arbre a une action sur la texture du sol. A travers le système racinaire, l'arbre maintient solidement le sol et l'empêche d'être emporté par les eaux de pluies (Brittaine et Litaladio, 2010) et par les vents modérés. Le sol fin balayé par l'érosion éolienne est intercepté et déposé sur le sol par des précipitations à travers le feuillage et par écoulement sur le tronc (Boffa, 2000). Aussi, plusieurs études ont signalé des teneurs en argile et en limon plus élevées à proximité des troncs de *Faidherbia albida* comparativement au plein champ (Jung, 1966). Ils attribuent le phénomène à un régime érosif plus faible sous *F. albida*, à la remontée de particules fines à la surface par les termites qui préfèrent les sites arborés. Pour leur stabilisation, le chevelu racinaire a une action mécanique et enrobant, mais également une action chimique par les sécrétions de la microflore de la rhizosphère. Il y a également le réseau d'hyphes de champignons et de fibres végétales (issues des feuilles consommées) qui peut également consolider la structure des sols (Métral, 2007). Ainsi, la pédofaune associée à la microflore participe à l'amélioration et la stabilisation de l'organisation structurale du sol.

III.2. Paramètres chimiques du sol

Le compartiment organique est un élément clef dans le fonctionnement biogéochimique du sol. Selon Hongve *et al.* (2000), les essences forestières se distinguent par la quantité et la qualité de la matière organique restituée au sol. Ainsi, les différentes essences forestières ne fournissent pas la même quantité de matière organique au niveau de la litière. Balasubramanian et Sekayanga (1989), au Rwanda, rapportent une production annuelle moyenne de nutriments par la biomasse foliaire de *Cassia spectabilis* DC. et de *C. leucaena* DC, de 72 à 119 kg/ha d'azote (N), 2 à 3 kg/ha de phosphore (P), 47 à 94 kg/ha de calcium (Ca), 8 à 19 kg/ha de magnésium (Mg) et 29 à 50 kg/ha de potassium (K) équivalente à une contribution annuelle de 10 t/ha de fumier de ferme. Yanoah *et al.* (1986), ont noté en zones des tropiques sub-humiques, la production d'une espèce apparentée, *Cassia siamea* de 186 kg/ha par an de l'azote foliaire. Aussi, des travaux ont montré un effet de l'essence sur la composition de la matière organique extraite du sol (Certini *et al.*, 2005) ainsi qu'un effet notable de l'essence sur les vitesses de biodégradation de ces litières (Moukouri, 2006). L'effet de l'essence sur l'interception des dépôts a des conséquences sur les éléments tels que NH_4 , SO_4 , Ca, Mg, à l'origine de la variation du pH du sol (Jaffrain, 2006). Des concentrations élevées d'éléments nutritifs dans l'eau de pluie sous *Acacia senegal* ont été constatées par Bernhardt-Reversat en 1980.

A Saria au Burkina Faso, des tests ont également révélé que les houppiers de *Vitellaria paradoxa* avaient absorbé l'azote et le phosphore contenus dans l'eau de pluie et libéré du K, du C organique, du Ca et du Mg (Roosc *et al.*, 1974). Par ailleurs, les arbres accroissent aussi la teneur en N disponible des sols grâce à leur capacité de fixation biologique de N (Boffa, 2000). Cependant, Dommergues (1987) estime un potentiel fixateur faible des légumineuses en Afrique de l'Ouest. Aussi, le système racinaire des arbustes/arbres explore en profondeur et recycle les éléments nutritifs lessivés ou libérés par les roches en altération (Young, 1989). Les interactions entre les minéraux du sol et les composés organiques ont fait l'objet de nombreuses études (Drever et Stillings, 1997 ; Raulund-Rasmussen *et al.*, 1998). Buldgen et Dieng (1997) ont signalé la réduction des pertes de matières organiques et de nutriments au moyen de la lutte antiérosive et le recyclage des éléments nutritifs de la roche en altération.

Les exsudats organiques des racines et de la microflore peuvent fortement affecter la dissolution des minéraux, et en particulier des silicates comme les feldspaths (Lundstrom et Ohman, 1990 ; Raulund-Rasmussen *et al.*, 1998). Les phyllosilicates présents dans le sol peuvent également être dissous. L'approche par minéraux tests a permis de constater une modification de la CEC (Capacité d'Echange Cationique), de phyllosilicates qui pourrait être liée à l'action de l'arbre (Augusto *et al.*, 2001).

III.3. Paramètres biologiques du sol

Il existe une interaction très forte entre l'arbre et les communautés microbiennes pouvant aboutir à l'existence d'un effet de l'essence sur la biomasse bactérienne du sol et sur ses fonctions (Elmer *et al.*, 2004). Schulze *et al.* (2005) mentionnent cet effet «interaction» sous le terme d'allélopathie. L'interaction peut être liée à une compétition entre espèces favorisée par des facteurs physico-chimiques. Par rapport à la microfaune, Zou et Cates (1997) observent un effet direct des terpénoïdes issus des feuilles de Douglas sur la croissance de parasites de l'épicéa. La stimulation des populations de lombricidés, la présence d'une couverture herbacée spontanée permanente au pied des arbres, l'enrichissement en matière organique *in situ* par le turn-over racinaire (Nacro, 1997) induisent une amélioration progressive de la fertilité du sol sous les arbres surtout âgés (Moreno *et al.*, 2005). En Côte-d'Ivoire, Mordelet *et al.* (1993) in Rhoades (1997) ont constaté qu'un accroissement de la macrofaune et de la matière organique du sol sous des bouquets d'arbres s'accompagnait d'une amélioration de la macroporosité du sol et d'une diminution de sa densité apparente. D'où les modifications de la structure des sols à proximité des arbres (Boffa, 2000). Chiffot *et al.*, 2009 ; Lacombe *et al.*, (2009) au Québec, ont observé une grande diversité de populations microbiennes de mycorhizes arbusculaires dans

le sol dans un système de culture intercalaire associant le peuplier hybride et le soya comparativement aux monocultures de soya et de peupliers hybrides.

IV. Contraintes liées à la restauration des terres dégradées

IV.1. Contraintes physiques du sol

La texture, la structure et la stabilité structurale du sol sont les propriétés physiques du sol déterminants ses qualités agronomiques et forestières (la circulation de l'air, la circulation et la rétention de l'eau, la résistance à l'érosion). Les sols dégradés présentent généralement un aspect compacté avec une densité apparente considérable réduisant ainsi l'espace poral du sol (Tsague, 2005). Selon Sheoran *et al.* (2010), le compactage va donc réduire la capacité de rétention d'eau et d'air, limiter directement la croissance des plantes, puisque la plupart des espèces sont incapables d'y faire pénétrer efficacement leurs racines.

IV.2. Contraintes chimiques du sol

La fertilité du sol, le pH et la capacité d'échange cationique (CEC) sont les éléments chimiques les plus importants pour les sols (unt.unice.fr/uoh/degsol/). Les trois macro-éléments principaux, à savoir l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) contenus dans la mare organique sont généralement jugés insuffisants dans les sols dégradés. Concernant le pH, tous les éléments nutritifs du sol sont plus assimilables dans des pH qui s'approchent de la neutralité, alors que les sols dégradés sont acides ou basiques. Quant à la CEC, plus elle est élevée, plus elle peut retenir des cations dans le sol qui peuvent servir à améliorer la structure du sol (Ca^{2+} , par exemple) ou à alimenter les végétaux (NH_4^+ , par exemple), mais elle fait défaut sur les sols dégradés (unt.unice.fr/uoh/degsol/).

Dans le cas des terres post-activités minières, des contraintes supplémentaires s'ajoutent. En effet, la contamination des sols suite aux rejets des métaux lourds (plomb, le zinc, le chrome, le cuivre, le cadmium, le mercure et cyanure) impacte négativement les terres (forestières et agronomiques).

IV.3. Contraintes biologiques du sol

A l'instar des contraintes physiques et chimiques, les contraintes biologiques du sol empêchent également une évolution des plantations. En effet, le sol, comme n'importe quel autre écosystème, est un habitat important à des milliers d'organismes associés comme une grande variété de champignons, d'actinobactéries, d'algues, de protozoaires et différents types de bactéries qui varient dans leur physiologie. Ces micro-organismes peuvent se produire en



association à des particules d'argile ou de matière organique et dans la rhizosphère des plantes indispensables à leur métabolisme en synergie avec les racines des plantes (Amora-Lazcano *et al.*, 2010). Ils jouent un rôle majeur dans la stabilisation globale, ce qui est important pour le maintien de conditions structurelles appropriées pour la porosité du sol et la croissance des cultures (Ghose, 2005). Les composantes microbiennes les plus impliquées dans le biofonctionnement du sol sont les bactéries et les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA). Ces derniers sont considérés comme des éléments majeurs de l'interface sol/plante (Duponnois *et al.*, 2013). Dans les sols dégradés, la composante biologique du sol est généralement très diminuée.

IV.4. Contraintes liées à la méconnaissance de l'écologie des espèces locales

Le choix des espèces végétales à utiliser est très capital pour le succès d'un projet de réhabilitation/restauration des terres dégradées. En effet, les moyens financiers indispensables à la création de conditions idéales pour les plants faisant généralement défaut, il faut pouvoir choisir des espèces qui peuvent survivre et croître malgré les différentes contraintes liées aux conditions environnementales. Beaucoup d'études ont été faites sur la dynamique des formations végétales naturelles soumises à des facteurs de perturbation (Savadogo, 2007; Zida, 2007; Sawadogo, 2009; Dayamba, 2010) et spécifiquement sur la question de régénération dans les formations naturelles (Bationo *et al.*, 2001 ; Ky-Dembélé *et al.*, 2007 ; Zida *et al.*, 2007 ; Bognounou *et al.*, 2010). Cependant, des études sur les performances individuelles de nos espèces locales en plantation sont rares (Zida *et al.*, 2008).

CHAPITRE II : SITE DE L'ETUDE

I. Milieu biophysique

I.1 Bref historique et situation géographique du site d'étude

La présente étude a été conduite à la station de recherche de l'INERA/Saria située dans la province du Boulkiemdé à 23 km à l'Est de Koudougou et à 80 km au Nord-Ouest de Ouagadougou. De coordonnées géographiques 30 P 0591385 et 1357477 à 300 m d'altitude (Salawu, 2009) (Figure 1), cette station a été créée en 1923 et a une superficie de 400 ha. C'est la plus ancienne station de recherche en Afrique de l'Ouest après la station de Bambey au Sénégal.

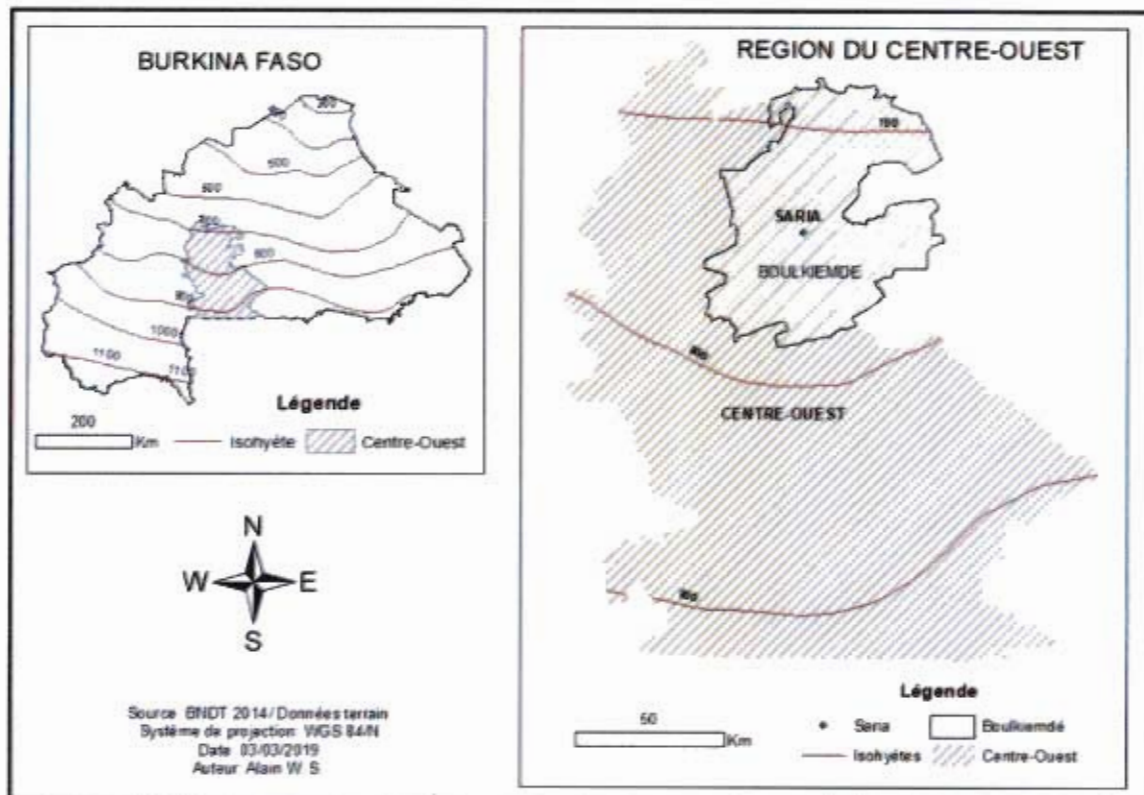


Figure 1: Localisation du site d'étude

I.2. Climat

Le climat est de type Nord-soudanien (Fontès et Guinko, 1995), soumis à l'influence des variations inter annuelles et caractérisé par deux saisons: une saison pluvieuse de mai à octobre et une saison sèche de novembre à avril. Le régime climatique se caractérise par une forte irrégularité liée aux fluctuations des paramètres atmosphériques que sont essentiellement la pluviométrie, l'humidité et l'évapotranspiration (Ouédraogo, 2009).

1.2.1. Pluviométrie

La pluviométrie de la station de Saria est caractérisée par des pluies violentes et irrégulières surtout en début et fin de saison pluvieuse (Barro, 1999). La moyenne annuelle des précipitations de 2008 à 2017 était $869,42 \pm 110,68$ mm de pluie avec une forte variabilité inter annuelle et le nombre moyen de jours de pluies était de 66 ± 9 jours. En 2017, le mois le plus pluvieux était juillet avec 211,10 mm de pluie en 9 jours (figure 2). L'année la moins pluvieuse de ces dix années était 2013 avec 626,4 mm en 51 jours, et la plus pluvieuse était 2016 avec 998,8 mm de pluie en 72 jours (Figure 3). Les données climatiques ont été obtenues à l'aide d'une mini-station météo installée par la Direction Régionale de l'Environnement et de Recherche Agricole du Centre-Ouest (DRREA/CO).

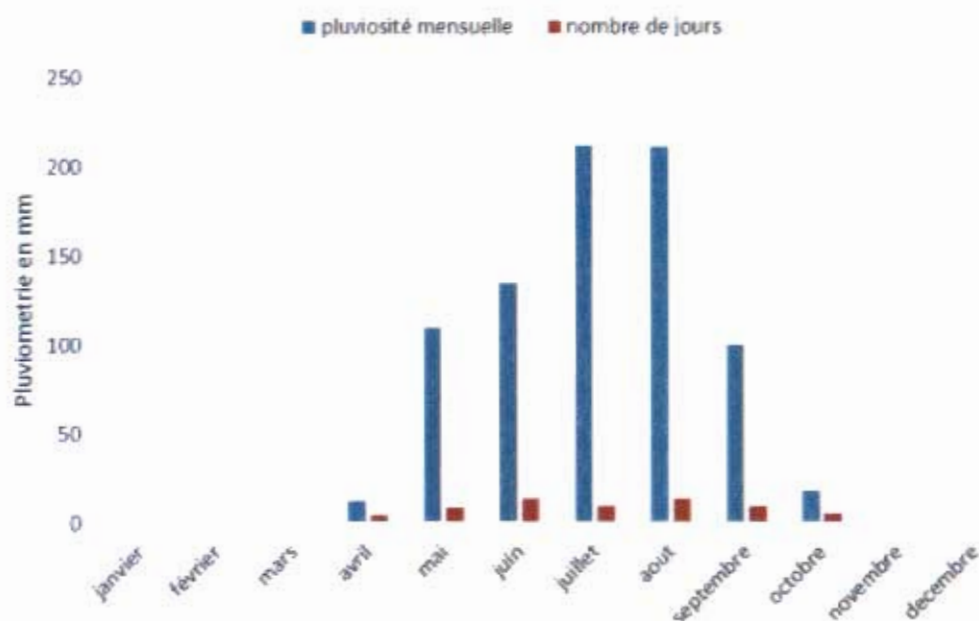


Figure 2 : Pluviosité mensuelle et nombre de jours de pluies à Saria en 2017

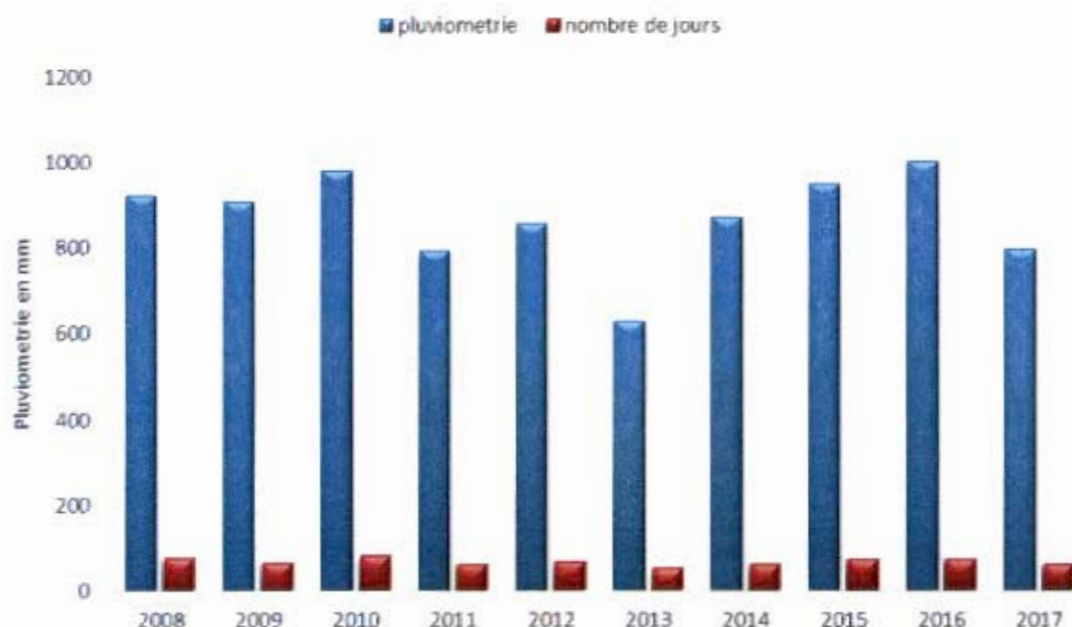


Figure 3 : Pluviosité et nombre de jours de pluies par an à Saria de 2008 à 2017

I.2.2. Température, humidité relative et vents

Les températures à la station de recherche de Saria connaissent une variation au cours de l'année. La moyenne annuelle est de 28°C avec des maxima mensuels de 40°C. La température quotidienne moyenne varie de 30°C pendant la saison des pluies à 45°C en avril et mai. L'humidité relative de l'air connaît également des variations saisonnières. Comme dans l'ensemble du territoire burkinabè, la station de Saria est soumise à deux grands vents : un vent humide appelé la mousson, soufflant de mai à octobre et un vent chaud et sec appelé harmattan intervenant de décembre à avril.

I.3. Végétation

Selon la subdivision phytogéographique du Burkina, la végétation de Saria est de type soudanien (Fontès et Guinko, 1995). Elle est caractérisée par la présence d'une savane à graminée annuelle, à arbres et arbustes. De nos jours cette végétation est en voie de disparition à cause de la forte pression démographique et des variabilités climatiques. Les espèces ligneuses fréquemment rencontrées sont : *Adansonia digitata* L., *Lannea microcarpa* Engl. et K. Krause, *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss., *Faidherbia albida* (Del.) Chev., *Acacia nilotica* (L.) Willd. ex Del., *Azadirachta indica* A. Juss., *Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertn, *Parkia biglobosa* (Jacq.)

R.Br. ex G.Don, *Tamarindus indica* L., *Acacia albida* Delile et d'autres espèces comme *Bombax costatum* Pellegr. & Vuillet, *Ziziphus mauritiana* Lam.

La strate arbustive est dominée par des Combretaceae: *Combretum glutinosum* Perr. ex DC., *Combretum micranthum* G.Don, *Combretum nigricans* Lepr. ex Guill. & Perr., et *Guiera senegalensis* J.F.Gmel.

La strate herbacée est largement dominée par des espèces graminéennes telles que *Andropogon gayanus* Kunth et *Pennisetum pedicellatum* Trin., rencontrées sur quelques jachères de la station; *Loudetia togoensis* (Pilg.) C.E.Hubb.et *Schoenefeldia gracilis* Kunth respectivement rencontrées sur les sols peu profonds et les dalles latéritiques.

Face à la progression de la désertification, les populations ont procédé par la plantation de certaines espèces telles que *Cassia siamea* Lam., *Mangifera indica* L., *Azadirachta indica* A. Juss., *Eucalyptus camadulensis* Dehnh, etc.

I.4. Sols

Les sols de Saria font partie des sols du type ferrugineux tropical lessivé, issus d'une roche mère granitique (Sédogo ; 1981, 1993). Ils présentent des horizons supérieurs de texture limono-sableuse à sablo-argileuse, à structure généralement continue et massive et se prennent en masse dès qu'ils sont soumis à la dessiccation. La kaolinite et l'illite sont les argiles qui sont les plus rencontrées dans la zone (Sédogo, 1981). A l'image de la majorité des sols ferrugineux tropicaux (environ 39 % des sols burkinabè), les sols de Saria sont caractérisés par une carence en azote, en phosphore et en matière organique (MO) qui expliquent la faiblesse de leur capacité d'échange cationique (CEC) et leur légère acidité (Traoré, 2012). Ces sols s'acidifient rapidement sous les effets de la culture continue et des apports d'engrais chimiques non associés à la fertilisation organique (Sédogo, 1993). Les sols sont peu profonds à Saria (Barro, 1999), ce qui diminue leur capacité de rétention en eau.

II. Milieu humain

La population de Saria est dominée par trois groupes ethniques à savoir les Mossé, les Gourounsi et les Peulh. Les croyances religieuses rencontrées sont le Christianisme, l'Animisme et l'Islam. Les principales activités exercées par la population sont l'agriculture et l'élevage et le petit commerce. La production agricole est essentiellement pluviale, céréalière et de subsistance (Ouédraogo, 2009). Les principales cultures vivrières sont : *Sorghum bicolor*

(L.), *Pennisetum americanum* Pius J., *Zea mays* L. et *Oryza sativa* (L.). A cela, s'ajoutent les cultures maraichères de *Brassica oleracea* Nicholson A.G., *Solanum melongena* Mitachek, *Allium cepa* (L.), *Solanum lycopersicum* Chambonet, et les cultures de rente telles que *Vigna unguiculata* (L.) Walp., *Arachis hypogaea* (L.). L'élevage pratiqué concerne le bétail et la volaille. L'élevage du cheptel est du type extensif basé sur les ovins, les bovins, les caprins et les asins. Le commerce et l'artisanat sont aussi pratiqués. Le village de Saria dispose d'un marché qui a lieu tous les trois jours.

CHAPITRE III : DEMARCHE METHODOLOGIQUE

I. Première étude : Capacité de survie et performance de croissance morphologique de *Acacia tortilis* et *Acacia tumida* en plantation

La présente étude visait à évaluer la performance de croissance morphologique de 2 espèces d'*Acacia* en plantation sous différentes doses d'amendement organique sur une terre dégradée à la station de recherche de Saria. Spécifiquement, il s'est agi d'évaluer: (1) le taux de survie des individus de chaque espèce après 358 jours de plantation, (2) d'évaluer les taux de croissance relative du diamètre au collet (TCRD) et de la hauteur (TCRH) des individus de chaque espèce.

I-1. Espèces étudiées

Les espèces ont été choisies en raison de leurs potentialités à restaurer les zones dégradées et de leurs valeurs socio-économiques (Konaté, 2015). Ce sont : *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne et *Acacia tumida* (F.) Muell.

Acacia tortilis ou *Acacia raddiana* est un arbre épineux de la famille des Légumineuses dont la hauteur varie entre 12 et 13 mètres. Il est plus fréquent dans des régions arides et semi-arides au sud et au nord du Sahara. Il vit sur les sols sableux, ou tout au moins des sols profonds, mais se trouve aussi dans la pierraille, les éboulis latéritiques et les bords de mares temporaires (Arbonnier, 2009). Cette espèce fournit également une bonne qualité de bois de chauffe et est aussi utilisée en médecine traditionnelle. C'est une bonne espèce fourragère, dont les feuilles et les gousses sont très appréciées par les animaux domestiques et sauvages (von Maydell, 1992 ; Arbonnier, 2009 ; Berte *et al.*, 2010).

Acacia tumida est un arbre de 5-15 mètres ou arbuste de 2-3 mètres, de la famille des Légumineuses, originaire du Nord-Ouest australien qui a été introduit au Sénégal en 1974 (Cazet, 1989). Il se trouve dans les zones arides et humides sur des sols sableux. Les jeunes gousses sont broutées par le bétail, et comme certains *Acacia*, cette espèce est utilisée dans l'alimentation humaine. Il existe même un marché européen pour les graines comestibles. L'espèce est aussi efficace comme brise-vent et, il est possible de planter *Acacia tumida* dans les zones où la pluviométrie est seulement supérieure à 300 mm (Aune, 2007).

I-2. Traitement des semences et production des plants en pépinière

Pour la production de plants, les graines de *A. tumida* ont été acquises auprès de l'ICRISAT au Niger. Les semences de *A. tortilis* ont été achetées au Centre National de Semences Forestières (CNSF, Burkina Faso), structure étatique en charge de la gestion des semences forestières du Burkina Faso. Avant d'être semées directement dans des pots en polyéthylène, les graines de chaque espèce ont été prétraitées selon le catalogue du CNSF (2008). Ainsi les semences des deux espèces ont été trempées à l'acide sulfurique à 96% pendant 30 mns (CNSF, 2008 ; Roussel, 1984), ensuite toutes les semences ont été rincées abondamment avant d'être trempées à l'eau de robinet pendant 24 heures.

Les semences ont été mises à germer directement dans des pots en plastiques remplis au préalable d'un mélange de sol forestier et d'humus. En fonction de la période d'acquisition des semences de chaque espèce, celle de *Acacia tortilis* ont été semées en mi-juin et celles de *Acacia tumida* en fin juillet de l'année 2014 (Photo 1).



Photo 1 : Traitements et semis de semences

(Clichés Djibril D., 2014)

Pour maintenir les conditions optimales d'humidité du sol, les plants ont été arrosés une fois par jour au début, puis au besoin jusqu'à leurs transplantation.

I.3. Dispositif expérimental et transplantation

Cet essai a été réalisé à la station de recherche agricole de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) de Saria. Le site de plantation, tel que décrit par Zida *et al.* (2008), est un terrain plat ouvert avec des conditions de sol similaires avec une saison pluvieuse unimodale qui dure 6 mois de mai à octobre. Les précipitations annuelles moyennes pour la période de 2008-2017 étaient de $869,42 \pm 110,68$ mm et l'évapotranspiration annuelle moyenne de 2000 mm pour les années sèches et de 1720 mm pour les années humides (Ouattara *et al.*, 2006). La température journalière moyenne variait de 30°C pendant la saison des pluies à 45°C

en avril et en mai (Mando *et al.*, 2005). Le site expérimental a été clôturé pour exclure les activités de grands herbivores.

Pour chaque espèce, le dispositif expérimental est un bloc complet randomisé avec 3 répétitions pour les traitements (4 doses de fumure organique). Chaque bloc a une taille de 15 m* 9 m soit 0, 013 ha et séparé l'un de l'autre par 4 m de distance. Chaque bloc comporte 4 lignes distantes de 3 m et chaque ligne contient 7 poquets ou trous de 60 cm de profondeur et 40 cm de diamètre. Les poquets sont séparés les uns des autres de 2,5 m. Quatre traitements ou doses de fumure, 0 kg/poquet (F0), 0,5 kg (F0,5), 1 kg (F1) et 1,5 kg (F1,5) respectivement ont été appliqués de façon randomisée à raison d'un traitement par ligne au sein de chaque bloc. Au total, il y avait 84 plants par espèce, soit 21 plants par dose de fumure et 7 plants par répétition de traitement (Photo 2). Cette transplantation a été effectuée les 02 et 03 octobre 2014 correspondant à la fin de la saison des pluies et au début de la saison de sèche. A cet effet, les plants ont été arrosés une fois par semaine à raison de 1,5 litre d'eau par poquet durant la saison sèche.

La fumure qui a été utilisée dans cette expérimentation avait été fabriquée par un particulier (paysan) de Saria.

1.4. Compostage de la fumure organique utilisée

Ce type de fumure organique a été élaboré par compostage en fosse. Cette technique, la plus courante pour la fabrication de la matière organique, consiste en l'édification d'un tas de couches successives de matières végétales et de déjections animales dans une fosse. Dans notre cas la technologie se présente comme suit :

1.4.1. Taille de la fosse

La taille de la fosse compostière est de 5 m x 5 m x 1 m (un carré de 5 m et une profondeur de 1 m) avec la construction du bord de la fosse avec des briques de 20 cm d'épaisseur pour éviter le remplissage de la fosse par des eaux de ruissellement. Un espace est réservé dans la fosse pendant le remplissage afin de permettre le retournement du compost dans la même fosse.



Photo 2 : Vue des plants dans le dispositif expérimental

(Cliché Ibrahim K., 2014)

I.4.2. Elaboration du compost

Quarante charretées de matières organiques constituées de paille, tiges de sorgho et 10 charretées de fumier ou de déjection de bovin, d'ovin, de caprin et de volailles ont été utilisées et réparties en des couches :

- Couche 1 : matière végétale (paille non coupée) d'environ 20 cm humidifiée par précaution
- Couche 2 : matière végétale (coupée) d'environ 30 cm bien tassée et arrosée par précaution
- Couche 3 : fumier ou déjection animale d'environ 15 cm, ensuite humidifier le tas et arroser légèrement
- Répéter les opérations des couches 2 et 3 plusieurs fois pour obtenir 1 substrat à une hauteur d'environ 1,5 m.
- Couche 4 : terre humifère d'environ 3 cm et recouvrir le tas

Le compost est arrosé chaque semaine et retourné 1 fois en 2 semaines. Le compost est considéré mûr au-delà de 4 mois.

I.5. Collectes et analyses des données

Les plantules ont été mesurées le 7^e jour de transplantation et ensuite au 358^e jour après la transplantation sur le terrain, soit environ une année. Au cours de chaque séance d'évaluation, l'état de vie (vivant ou apparemment mort) de la plantule est constaté. Seules les plantules vivantes ont été considérées pour mesurer le diamètre au collet à l'aide d'un pied à coulisse à environ 1 cm au-dessus du sol. La hauteur totale a été mesurée avec un mètre ruban (Photo 3). Ces données ont permis de calculer le taux de survie au dernier jour de suivi pour estimer l'aptitude des plantules de chaque espèce à se développer dans les conditions externes du site. Le taux de croissance relative (TCR) a été calculé pour montrer l'efficacité de croissance des plantules par le calcul du rendement moyen de l'unité de matière sèche. Le TCR pour le diamètre au collet et pour la hauteur de toutes les plantules a été calculé à l'aide de la formule utilisée par Zida *et al.* (2008) :

$$TCR = [\ln X_2 - \ln X_1] / \Delta t$$

Où les variables X1 et X2 désignent respectivement la première et la dernière mesure du diamètre ou de la hauteur de la plantule et Δt est l'intervalle de temps entre les 2 mesures

Le taux de survie et le taux de croissance relative pour le diamètre et la hauteur ont été calculés afin de voir le comportement des différentes espèces.

Pour chaque espèce, les taux de croissance ont été soumis à une analyse de variance à un facteur pour tester s'il y avait une différence significative entre les doses de fumure.

Les calculs ont été faits avec Microsoft Excel 2013. Quant aux analyses de variances, elles ont été faites en utilisant le logiciel SPSS 20 et les moyennes ont été séparées au seuil de 5 % (significativité) selon le test de Fisher. Les différences significatives entre les moyennes ont été soumises à des comparaisons 2 à 2 selon le test de Tukey. Les graphiques ont été tracés avec logiciel SIGMA PLOT. Les valeurs des hauteurs et des diamètres au collet de terrain transformées en log népérien ont été utilisées dans les analyses statistiques alors que les valeurs de champs réelles sont présentées dans les différentes figures au niveau des résultats.



Photo 3: Vue de la mesure du diamètre au collet et de la hauteur des plantules

II. Deuxième étude : Influence des 2 essences d'Acacia sur la teneur en quelques éléments chimiques du sol

La présente étude avait pour objectif d'évaluer l'aptitude de chacune des deux espèces ligneuses dans la restauration des terres dégradées, notamment leurs impacts potentiels sur la teneur du sol en certains éléments chimiques tels que la matière organique totale (MO), le carbone (C), l'azote total (N) et le phosphore assimilable (P ass).

II.1. Eléments chimiques étudiés

II.1.1. Matière organique (MO) et carbone (C)

En position d'interface entre atmosphère, lithosphère, hydrosphère et biosphère, le sol et sa matière organique représentent un véritable « carrefour multifonctionnel » selon Gobat *et al.*, 2010. Ils jouent un rôle essentiel dans les écosystèmes terrestres dans la productivité agricole mondiale (Lal *et al.*, 2004), comme habitat et substrat indispensable à une multitude d'êtres vivants, contrôlent les flux des grands cycles biogéochimiques (cycle de l'eau, cycle du

carbone, de l'azote, du phosphore, ...). le sol et sa matière organique participent à la régulation du climat via l'émission de gaz à effet de serre et la séquestration du carbone, stockant 3,3 fois plus de carbone dans le premier mètre de sol (2500 Gt) que l'atmosphère (760 Gt) ou 4,5 fois plus que la végétation terrestre (560 Gt) (Lal *et al.*, 2004) ; ils protègent les ressources en eau par leur capacité à filtrer ou à retenir les polluants (Linn *et al.*, 1993; Lal *et al.*, 2004) ; ils jouent également un rôle essentiel dans la résilience des écosystèmes, pour ne citer que les principales fonctions et services rendus.

Les matières organiques utilisées dans la fertilisation des sols sont de nature et de forme variées. Elles sont surtout constituées de fumier, de résidus de culture, d'engrais verts, de compost, etc. (Kéita, 1995; Diallo, 2002). Les matières organiques subissent une série de transformations qui les décomposent, puis les minéralisent. Ces transformations sont assurées par les microorganismes. La matière organique a des effets bénéfiques sur les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol et joue un rôle important dans la fertilisation minérale (Sédogo, 1993).

Les sols contiennent un très important réservoir de carbone (C) sous forme de composés organiques. Cette matière organique provient des organes et organismes morts, essentiellement végétaux, de déjections animales, des exsudats des racines ou « rhizodépôts » et des organismes vivants. La matière organique (MO) subit des biotransformations dans le sol: biodégradation et finalement minéralisation, laquelle restitue le C à l'atmosphère sous forme de CO₂ (Chenu *et al.*, 2014). Les composés organiques résident dans le sol pendant une durée moyenne de quelques décennies, mais qui est très variable puisqu'elle peut aller de quelques heures à plusieurs millénaires. Le temps de résidence du C dans le sol dépend de la composition de la matière organique et des conditions locales (température, humidité, aération...) ; il est augmenté par l'association de la matière organique aux particules minérales du sol (aux argiles en particulier) qui assurent une protection physique et physico-chimique de la matière organique vis-à-vis de l'action des microorganismes décomposeurs (Martin *et al.*, 2011). Augmenter le stockage de C dans les sols via les pratiques agricoles et forestières apparaît donc comme un volant d'action tout à fait significatif pour l'atténuation du changement climatique. Stocker du carbone dans les sols présente également des intérêts liés à ceux de la matière organique.

II.1.2. Azote (N)

L'azote est un facteur important de croissance et de rendement des cultures (Bationo *et al.*, 2008). Il est indispensable à la croissance et au développement des plantes du fait de son rôle dans la synthèse des protéines et des exigences importantes des plantes en azote comparativement aux autres éléments (Fosu et Tetteh, 2008). Dans le sol, l'azote existe sous la

forme minérale et organique (www.azote.info). La composante organique est la plus abondante et est lentement minéralisée par les bactéries en ammonium inorganique et en nitrate qui constituent les formes utilisables par les plantes (Fosu et Tetteh, 2008). Les ions NH_4^+ sont en majorité fixés dans les interstices des couches argileuses, réduisant leur disponibilité. Un apport d'engrais minéral est donc indispensable pour soutenir la production. Le sulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ du fait de son action acidifiant est remplacé par l'urée vulgarisée dans tout le pays (Yougbaré, 2008). Sédogo (1981 et 1993) montre qu'un chaulage ou un apport de fumure organique est indispensable pour corriger la baisse de pH engendré par la fertilisation minérale azotée. Cependant Bonzi (2002) indique que la conjugaison de ces deux pratiques active la dégradation de la fertilité azotée du sol accroissant ainsi les pertes pouvant atteindre 70 kg de N à l'hectare.

II.1.3. Phosphore (P)

Le phosphore (P) est considéré, après l'azote, comme l'élément nutritif le plus limitant des rendements agricoles dans la majorité des sols tropicaux d'Afrique, notamment pour ceux des savanes Ouest Africaine (Nwoke *et al.*, 2003).

Les composés phosphatés interviennent dans l'accumulation et dans la libération de l'énergie indispensable au métabolisme cellulaire, au développement du système racinaire et à la formation et à la maturation des semences (Soltner, 1994). En plus de ce rôle lié au végétal, il permet l'accroissement de la biomasse et de l'activité des microorganismes (Sawadogo, 2002). Le phosphore est un élément naturellement présent dans l'environnement, les organismes vivants, l'eau et dans les sols. Il est présent dans les sols sous forme minérale et organique. La fertilisation phosphatée des sols comprend une large gamme de produits, issus des phosphates naturels, ou de matières organiques fertilisantes (step, déjections animales). Apporté en excès, P s'accumule dans les sols (www.gissol.fr).

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés sont pour la plupart très déficients en P. Lompo *et al.* (2008), constatent que les teneurs en P total dans les sols non cultivés sont faibles (autour de 200 mg kg) tandis que les teneurs en P assimilable varient entre de 1,7 et 5,6 mg/kg.

II.2. Collectes et analyses des données

II.2.1. Echantillonnage du sol

La méthode choisie a consisté à prélever le sol à deux niveaux : l'un au pied du jeune plant (l'échantillon est considéré comme la zone d'influence directe du plant) et l'autre à une distance de 1 m du plant (échantillon considéré comme hors influencé par le plant, donc témoin). Cette méthode de prélèvement permet de voir l'effet de la distance de mesure. Quatre plants par

espèce et par traitement ont été considérés. Les prélèvements ont concerné l'horizon 0-20cm et ont été réalisés à l'aide d'une tarière. Les échantillons prélevés ont été écrasés et tamisés à travers un tamis de maille 2 mm. Ensuite un prélèvement de 50 g a été fait et envoyé au laboratoire pour déterminer les teneurs du sol en matières organiques (MO), en C, en N et en P. ass. Cela fournit des informations sur l'impact de ces espèces sur le sol dans leurs environs. Les prélèvements de sol ont été effectués 2 ans et demi après la transplantation soit en mars 2017.

II.2.2. Analyse chimique du sol

Les analyses chimiques ont été réalisées au Bureau National des Sols du Burkina Faso (BUNASOLS).

Le carbone organique total a été dosé par la méthode de Walkey et Black (1934). Cette méthode a été revue afin de l'adapter au sol du Burkina par Gnankambary *et al.* (1999). Un échantillon d'une quantité de sol de 10 g a été prélevé pour la prise d'essai. Le carbone de l'échantillon a été oxydé en CO₂ par une solution normale de bichromate de potassium (K₂Cr₂O₇) en excès en milieu acide (H₂SO₄). La quantité de K₂Cr₂O₇ réduite est proportionnelle à la teneur en carbone. L'excès est titré par le sel de Mohr (F₂(SO₄) (NH₄)₆) en présence d'un indicateur, la diphénylamine. Ce qui permet de calculer la quantité de K₂Cr₂O₇ réduite en effectuant la différence entre le volume de sel de Mohr utilisé pour un échantillon blanc (échantillon témoin) et celui de l'échantillon analysé. Un facteur de correction de 1,33 a été appliqué au résultat obtenu du fait d'une oxydation incomplète du carbone.

Le pourcentage de matière organique (MO) a été calculé par l'expression suivante : $Mo(\%) = Co(\%) \times 1,724$

L'azote total été dosé par la méthode de Kjeldalh Houba *et al.* (1988). Cette méthode a été utilisée avec succès dans de nombreuses recherches relatives aux sols soudaniens (Tassambedo, 2001 ; Ouédraogo, 2003). Elle consiste en un dosage par colorimétrie automatique après la minéralisation des composés organiques en azote ammoniacal en présence d'acide sulfurique (H₂SO₄) et de catalyseur (sélénium).

Le phosphore assimilable a été déterminé à l'aide de la méthode de Bray 1 en faisant l'extraction avec une solution mixte de chlorure d'ammonium et d'acide chlorhydrique et ensuite en passant l'extraction au spectrophotomètre à 720 nm en utilisant le molybdate d'ammonium et l'acide ascorbique.

II.2.3. Analyse de données

Les valeurs recueillies après analyses chimiques ont été saisies sur Microsoft Excel. Pour les différents paramètres chimiques, nous avons fait une analyse de variance à deux facteurs pour tester s'il y avait une différence significative due à la distance de mesure et au traitement de la

fumure organique (F0 ; F0,5 ; F1 et F1,5). Avant de procéder aux analyses statistiques, les données ont été examinées pour voir si elles satisfont aux conditions de normalité (graphique de Kolmogorov test) et d'homogénéité (Levene's test) de variance. Quand ces conditions n'étaient satisfaites, on a procédé à une transformation des données.

Les moyennes des différents paramètres chimiques ont servi à élaborer des graphiques comparant les distances de mesure et les différentes doses de fumure. Le logiciel SPSS 20 pour Windows (Copyright SPSS, Chicago, IBM, SPSS ; Inc) a utilisé pour les analyses statistiques et SIGMA PLOT pour le tracé des graphiques. Et quand les moyennes étaient significativement différentes, une comparaison 2 à 2 selon test de Tukey a été effectuée.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

I. Première étude : Capacité de survie des 2 espèces d'Acacia et leur performance de croissance sous effet de la dose de fumure

I.1. Résultats

I.1.1. Structure du peuplement de chaque espèce

I.1.1.1. Taux de survie des plantules des deux espèces après 358 jours de suivi

Sur un total de 168 plantules transplantées, 128 plantules ont été obtenues après 358 jours (environ un an) de suivi, soit un taux de survie de 76,19% pour les deux espèces.

Le taux de survie pour chaque espèce est supérieur à la moyenne (50%) : le plus élevé a été observé avec *A. tortilis* (94%), et le plus faible est pour *A. tumida* (58%) (Tableau 1).

Tableau 1: Variation du nombre des plantules par espèce à 7 et 358 jours après transplantation

Espèce	Nombre total de plantules		Taux de mortalité (%)	Taux de survie (%)
	7 jours	358 jours		
<i>Acacia tortilis</i>	84	79	6	94
<i>Acacia tumida</i>	84	49	42	58

I.1.1.2. Distribution des paramètres dendrométriques des plantules après 358 jours de plantation

Après 358 jours de suivi, la distribution du diamètre (D) et de la hauteur (H) des plantules selon l'espèce est résumée dans le tableau 2.

Les valeurs moyennes de hauteur des plantules mesurées après une année de croissance variaient de 30 à 70 cm pour *Acacia tortilis* et de 10 à 55 cm pour *Acacia tumida*.

Après une année environ, les plantules de *Acacia tortilis* avaient le plus gros diamètre au collet ($0,825 \pm 0,043$) comparées à celles de *Acacia tumida* ($0,567 \pm 0,065$).

Tableau 2 : Paramètres dendrométriques des plantules par espèce à 7 et 358 jours après transplantation

Espèce	Nombre total de plantules		Plantules de 7 jours		Plantules de 358 jours	
	7 jours	358 jours	Diamètre (cm)	Hauteur (cm)	Diamètre (cm)	Hauteur (cm)
<i>Acacia tortilis</i>	84	79	$0,338 \pm 0,011$	$30,988 \pm 1,281$	$0,825 \pm 0,043$	$70,036 \pm 3,038$
<i>Acacia tumida</i>	84	49	$0,160 \pm 0,004$	$10,693 \pm 0,365$	$0,567 \pm 0,065$	$55,286 \pm 5,912$

I.1.2. Taux de Croissance relative du diamètre (TCRD) et de la hauteur (TCRH) des plantules

I.1.2.1. Taux de croissance relative du diamètre au collet des plantules

Le taux de croissance relative du diamètre (TCRD) variait selon les espèces. Il est de 1,42 mm/mois pour *A. tumida* et de 0,78 mm/mois pour *Acacia tortilis*.

I.1.2.2. Taux de croissance relative de la hauteur des plantules

Pour le taux de croissance relative en hauteur (TCR.H), les plantules de *A. tumida* ont montré, la valeur la plus élevée soit 1,79 mm/mois (Photo 4), et *A. tortilis* donne 0,75 mm/mois.



Photo 4 : Aperçu de *Acacia tumida* en croissance

I.1.2.3. Effet des doses de fumure sur les paramètres mesurés des plantules : le TCRD et le TCRH

Pour les plantules de *Acacia tortilis*, l'ANOVA selon a montré que la dose du traitement à la fumure a induit des différences significatives sur le TCRD ($F=3,908$, $P<0,012$) et le TCRH ($F=4,708$, $P<0,005$) (Tableau 3). Pour le TCRD, la comparaison deux à deux des doses de fumure a montré une différence significative entre : la dose F0,5 et F1 ($P<0,001$), F0,5 et F1,5 ($P<0,033$) (Figure 4). Pour le TCRH, la comparaison deux à deux des doses de fumure montre une différence significative entre : la dose F0 et F1 ($P<0,015$), la dose F0 et F1,5 ($P<0,003$) ; la dose F0,5 et F1 ($P<0,037$), la dose F0,5 et F1,5 ($P<0,008$) (Figure 4).

Tableau 3 : Effet de la dose de fumure sur le Taux de croissance relative en diamètre et en hauteur pour *Acacia tortilis*

Variables	Sources de variation	Degré de liberté (ddl)	F	Probabilités
TCRD	Dose de Fumure	3	3,908	0,012
TCRH	Dose de Fumure	3	4,708	0,005

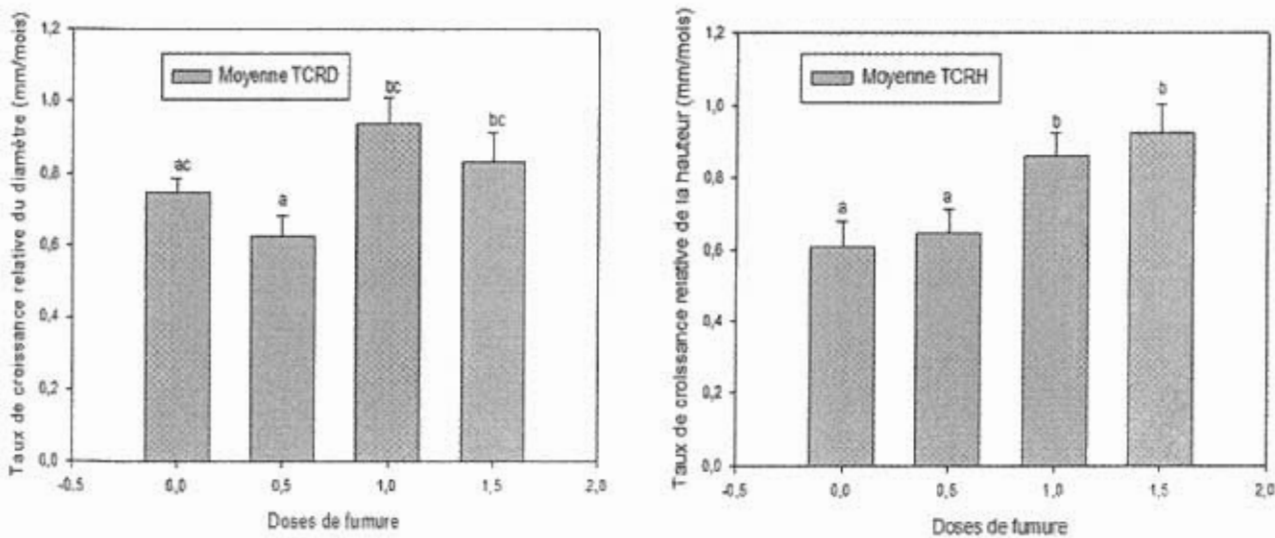


Figure 4: Effet des doses de fumure sur le TCR.D et TCR.H pour *Acacia tortilis*

Pour les plantules de *Acacia tumida*, la dose de fumure n'a aucun effet significatif sur le TCRD ($F=0,718$, $P<0,547$) et le TCRH ($F=0,411$, $P<0,746$) (Tableau 4, figure 5).

Tableau 4 : Effet de la dose de fumure sur le Taux de croissance relative en diamètre et en hauteur pour *Acacia tumida*

Variables	Sources de variation	Degré de liberté (ddl)	F	Probabilités
TCRD	Dose de Fumure	3	0,718	0,547
TCRH	Dose de Fumure	3	0,411	0,746

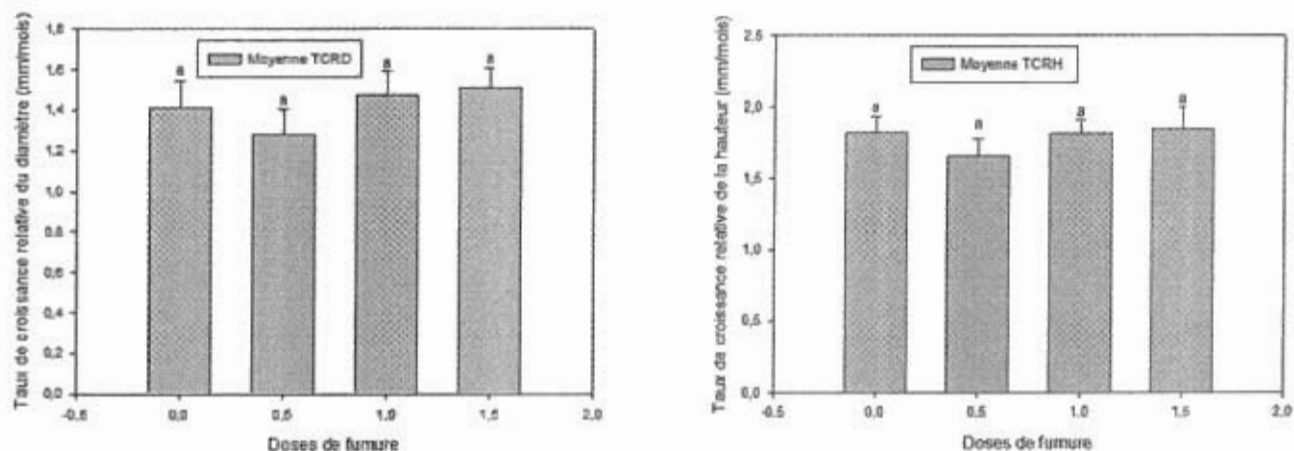


Figure 5 : Effet des doses de fumure sur le TCRD et TCRH pour *Acacia tumida*

1.2. Discussion

En moyenne pour chacune des 2 espèces, le taux de survie dans cette étude était supérieur à 50% en 358 jours de suivi, malgré que la plantation ait été mise en place en période sèche et que les plants n'aient reçu que 1,5 litre d'eau par plant et par semaine. Ceci peut être considéré comme une bonne performance et une perspective pour de futures initiatives de restauration dans ce contexte de zones arides où l'eau constitue le principal facteur limitant la croissance (Zida *et al.*, 2008). *A. torstilis*, a montré jusqu'à 94% de taux de survie après une année de transplantation. Ce résultat corrobore avec ceux de Cazet (1989) et Ndour & Danthu (1998). Selon ces auteurs, le taux de survie appréciable serait probablement dû à une installation rapide des systèmes racinaires profonds et une tolérance au stress hydrique de la part de cette espèce. Pour *A. tumida* (58%) sa performance inférieure à l'autre espèce pourrait être due à son plus jeune âge (2 mois) au moment de la plantation qui lui aurait fait subir un choc de transplantation (Konaté, 2015). Par ailleurs la compétition avec les herbacés pourrait également avoir provoqué cette mortalité observée étant donné qu'aucune disposition n'a été prise dans ce sens. Ainsi selon Harmer (1996); Campbell *et al.* (1994) les graminées sont plus efficaces pour l'assimilation de l'eau et ont un taux de capture des éléments minéraux plus élevé que les arbres, principalement grâce à une densité racinaire plus élevée. Selon Zida *et al.* (2008), la mortalité des plantules sur le site pourrait également être due à l'herbivorie, malgré la présence de clôture. En effet, les petits herbivores, tels que les rongeurs, les fourmis et les sauterelles qui se nourrissent de feuilles et de pousses vertes sont difficiles à exclure. Ce point de vue corrobore

une étude de Teketay (1997) qui disait également que la défoliation par les insectes était l'une des causes apparentes de la mortalité des jeunes plantes.

Selon les valeurs des taux de croissance relative en diamètre et en hauteur, les plantules de *A. tumida* et *A. tortilis* ont montré une bonne performance de croissance : *A. tumida* peut atteindre une croissance de 4 à 6 m en moins de 8 ans d'après Gaye *et al.* (1998). Les résultats sur la croissance de *A. tortilis* sont similaires à ceux de Gaye *et al.*, 1998 dans des plantations réalisées au Sénégal et de Laminou Manzo *et al.*, 2009 pour la fixation biologique de dunes au Niger qui indiquent des meilleures croissances. Pour les terres très dégradées, ces espèces pourraient être intéressantes à planter aux premiers stades de la restauration, même si dans certains cas spécifiques, elles pourraient ne pas être celles préférées pour les usages futurs. En effet, pouvoir reconstituer la biomasse sur un site donné est un point de départ clé pour la réhabilitation d'un site, car la biomasse reconstruite pourrait potentiellement être utilisée comme engrais vert pour améliorer la fertilité du sol du site et ensuite sélectionner les espèces préférées / souhaitables pour le site.

L'effet des doses de fumure pour chaque espèce, a montré que seulement *Acacia tortilis* a une différence significative entre les doses de fumure sur le TCRD et le TCRH. Nous remarquons qu'à la dose F0, les taux de croissance sont moins élevés qu'aux doses supérieures (F1 et F1,5). Il se pourrait que L'espèce ait développée un bon ancrage du système racinaire conditionnant une meilleure utilisation des nutriments disponibles (Lompo, 1999).

Pour *Acacia tumida*, la dose de fumure n'a eu aucun effet significatif sur les paramètres de croissance après une année de suivi. Ceci corrobore l'étude d'Afa *et al.* (2011) où la fumure organique n'a pas montré de différence avec le contrôle de la hauteur et du diamètre de *Khaya ivorensis*. Dans notre cas, il se pourrait aussi que l'effet attendu du compost sur la productivité du sol, notamment par l'apport de nutriments végétaux, n'ait pas encore pu être observé en raison de la décomposition inefficace du compost utilisé durant la période de suivi. Cela soulève également des préoccupations au sujet des amendements organiques utilisés par les habitants dans le voisinage du site expérimental, car le compost pour cette étude a été acheté auprès des agriculteurs locaux. Dans tous les cas, les résultats de notre étude suggèrent que, dans le contexte de l'indisponibilité du fumier pour les champs actuellement cultivés, la réhabilitation des sites dégradés, même sans apport d'amendement, pourrait être encouragée.

II. Deuxième étude : Influence des 2 espèces d'Acacia en plantation sur la teneur en quelques éléments chimiques du sol

II.1. Résultats

II.1.1. Effet de la distance de mesure et de la dose de fumure sur la teneur en MO, en C, en P ass et en N pour *A. tumida*

Les résultats pour l'espèce *A. tumida* ont montré que la distance de mesure n'a aucun effet significatif sur la teneur en MO, en C, en P ass et en N (tableau 5). Par contre, l'effet de la dose de fumure a été significatif sur la teneur en 2 éléments chimiques : il s'agit de la teneur en P ass ($F=4,008$ $P<0,019$) et en N ($F=5,149$ $P<0,007$) (tableau 5).

Tableau 5 : Effet de la distance de mesure et de la dose de fumure sur la teneur en MO, en C, en P ass et en N pour *A. tumida*

Variables	Sources de variation	Degré de liberté (ddl)	F	Probabilités
MO	Distance de mesure	1	0,010	0,920
	Dose de Fumure	3	1,112	0,364
C	Distance de mesure	1	0,009	0,924
	Dose de Fumure	3	1,086	0,374
P. ass	Distance de mesure	1	1,710	0,203
	Dose de Fumure	3	4,008	0,019
N	Distance de mesure	1	0,224	0,640
	Dose de Fumure	3	5,149	0,007

Ainsi pour le P ass, la comparaison deux à deux des doses de fumure montre que la dose F1,5 donne des valeurs de P ass significativement supérieures aux valeurs données par F0 (respectivement 25,91 mg/kg vs. 19,73 mg/kg avec $P<0,031$) et F0,5 est supérieure à F1 (23,33 mg/kg vs. 18,74 mg/kg avec $P<0,024$) ; Aussi la différence entre F1 et F1,5 était significative ($P<0,006$) (Figure 6).

Pour le N, les valeurs moyennes obtenues sous les différentes doses de fumure étaient de 0,12; 0,14; 0,16 et 0,16 (respectivement pour F0, F0,5, F1 et F1,5) et la comparaison deux à deux des doses de fumure montre que seule la différence entre F0 d'une part, et F1 et F1,5 d'autre part était significative (figure 6).

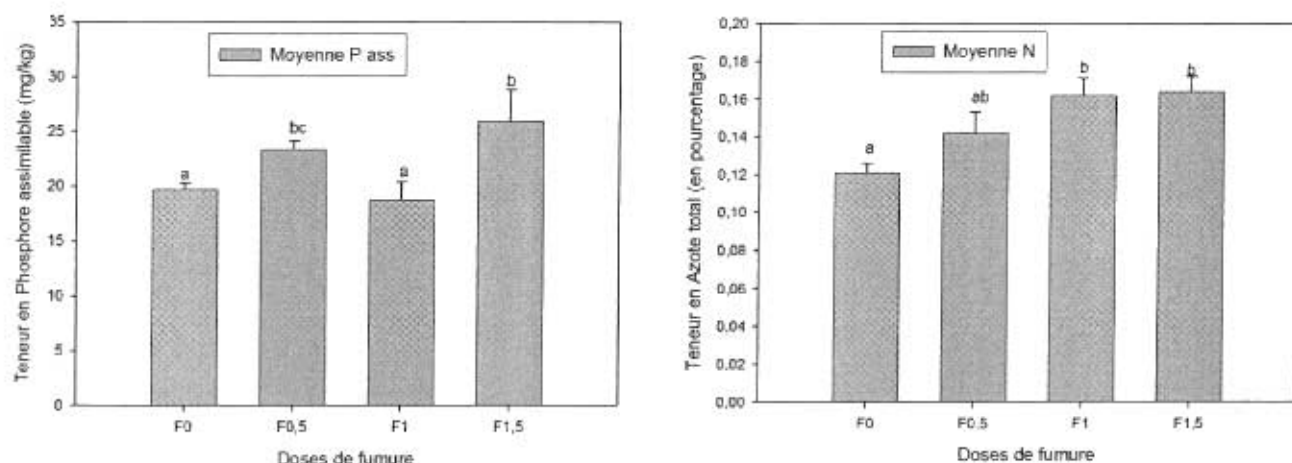


Figure 6 : Effet de dose de fumure sur la teneur en P ass et en N pour *A. tumida*

II.1.2. Effet de la distance de mesure et de la dose de fumure sur la teneur en matière MO, en C, en N et en P. ass pour *A. tortilis*

Ni la distance de mesure, ni le traitement de la dose de fumure n'ont montré un effet significatif sur la teneur des éléments chimiques (tableau 6).

Tableau 6: Effet de la distance de mesure et de la dose de fumure sur la teneur en MO, en C, en P ass et en N pour *A. tortilis*

Variables	Sources de variation	Degré de liberté (ddl)	F	Probabilités
MO	Distance de mesure	1	0,500	0,486
	Dose de Fumure	3	0,531	0,665
C	Distance de mesure	1	0,495	0,489
	Dose de Fumure	3	0,534	0,664
P. assi	Distance de mesure	1	0,094	0,762
	Dose de Fumure	3	2,194	0,115
N	Distance de mesure	1	0,000	0,996
	Dose de Fumure	3	1,145	0,351

II.2. Discussion

La dose de fumure seulement a eu un effet significatif sur la teneur en P ass sous *A. tumida*. Cette teneur s'améliore aux doses F0,5 et F1,5. Ce résultat corrobore les travaux de Sawadogo *et al.* (2008) qui ont trouvé que le compost permettrait de relever considérablement la teneur en phosphore assimilable dans des poquets de zaï en 3 ans. Akanza (2015) aussi, en menant une étude sur l'effet de la fumure sur la fertilité du sol, a trouvé que la fumure a accru la teneur en phosphore assimilable. Un effet significatif de la dose de fumure sur la teneur en azote (N) a

également été remarqué sous *A. tumida* : les teneurs les plus élevées ont été observées pour les plus fortes doses de fumure. Selon Boffa (2000), les arbres accroitraient aussi les taux d'azote disponible des sols grâce à leur capacité de le fixer. Les études menées par Diarra (2009) et Tyano (2016) ont fait ressortir que les arbres améliorent les caractéristiques chimiques du sol et montrent que les éléments nutritifs sont plus disponibles sous les houppiers. Il se pourrait que la présence de la dose de fumure augmente la capacité de fixation de *A. tumida*. Cette espèce est aussi la meilleure (par rapport à *A. torstilis*) concernant l'étude pour les performances de croissance. Il se pourrait qu'en 2 ans et demi, en présence de la dose de fumure, elle a développé un système racinaire important qui favoriserait l'apport d'éléments chimie en P ass et en N du sol. En effet, pour lutter contre la carence en éléments chimiques des sols, la plante bénéficie de la symbiose avec les champignons mycorhiziens arbusculaires (MA). Ces champignons vivent en symbiose avec les racines des plantes pour un meilleur prélèvement des éléments minéraux permettant à la plante de se développer dans des zones pauvres en éléments minéraux (Bayoulou, 2013). Par ailleurs, une recherche de l'ICRISAT au Niger révèle que *A. tumida* est une espèce qui produit beaucoup d'engrais vert (Aune, 2007). Par contre pour *A. torstilis*, on a eu aucun effet significatif ni de la distance de mesure, ni des doses de fumure sur les éléments chimiques étudiés. Il se pourrait que pour cette espèce, l'âge des plants dans notre étude, ne permettrait pas de voir un effet significatif sur les éléments chimiques du sol. Par ailleurs Bayoulou (2013) a montré que même en cinq (5) années de production, *Jatropha curcas* n'a pas influencé de manière significative le niveau de fertilité chimique des sols à différentes distances du houppier. Ainsi, les résultats obtenus confirment les travaux de Boffa et al. (2000) qui pensent que les petits arbres n'induisent pas de grandes modifications dans la fertilité chimiques des sols environnants. En effet, ces auteurs ont observé que des petits *Faidherbia albida* (6,6 m de diamètre de houppier) n'avaient pas pu accroître les taux nets de minéralisation de l'azote par rapport aux sites témoins. Harmand et Njiti (1998) ont également montré que les effets des jachères naturelles sur les propriétés chimiques du sol sont lents et on ne peut espérer augmenter notablement les stocks organiques des sols que par des jachères de plus de 5 ans, voire 7-8 ans. Par ailleurs il a fallu 6 ans à Bazongo et al. (2015) pour percevoir l'effet positif de *Jatropha curcas* sur la teneur en éléments chimiques (MO, C, N et P ass). Aussi une jachère d'une vingtaine d'années de *P. reticulatum* a contribué à améliorer le statut de la matière organique, celle de l'azote total et celle du phosphore total (Tyano, 2016). Pour certains auteurs, l'accroissement de la fertilité du sol sous l'ombrage serait dû notamment à la décomposition de la litière (Yélemou et al., 2013). Pour d'autres, ce serait principalement la décomposition de la végétation herbacée (Bernhard-Reversat, 1980). Néanmoins sur notre dispositif, l'augmentation

de la teneur en Azote et en Phosphore assimilable sous l'effet de la dose de fumure pour *A. tumida* est un aspect positif, surtout que les sols de Saria sont caractérisés par une carence en azote, en phosphore et en matière organique (MO) qui expliquent la faiblesse de leur capacité d'échange cationique (CEC) et leur légère acidité (Traoré, 2012).

CONCLUSION, RECOMMANDATION ET PERSPECTIVES

Les ressources naturelles telles que l'eau, les sols et les formations végétales sont depuis des siècles les principaux moyens de satisfaction des besoins de subsistance et de développement socio-économique en Afrique sub-saharienne en général et au Burkina Faso en particulier. Ces ressources sont soumises à des facteurs de dégradations compromettant la fourniture des biens et services d'où la nécessité de proposer des options d'aménagement. L'objectif général de cette étude était d'évaluer la contribution de 2 Acacias (*Acacia tortilis* et *Acacia tumida*) à restaurer les sols dégradés. Spécifiquement, Il s'est agi : (1) d'évaluer en 358 jours, les performances de survie et de croissance des 2 acacias, candidates potentielles pour la restauration de sites dégradés et (2) d'estimer en 2 ans et demi les changements dans la teneur en certains éléments chimiques du sol qui pourraient être imputable à la présence des plants de ces 2 espèces sur le site.

En 358 jours de suivi, les résultats ont montré qu'en terme de survie, le taux de survie est supérieur à la moyenne pour chacune des espèces, cependant, *A. tortilis*, donne la meilleure performance de survie dans ces zones dégradées. Concernant la croissance, les 2 espèces ont présenté une croissance substantielle à la fois pour le diamètre et la hauteur, mais c'est *A. tumida* qui donne les meilleures croissances en diamètre et en hauteur. La dose de fumure dans cette étude a montré une différence significative sur les taux de croissance relative de la hauteur et du diamètre pour *A. tortilis* après une année environ de surveillance. Aucun effet de la dose de fumure n'a été remarqué sur le taux croissance relative du diamètre et de la hauteur pour *A. tumida* malgré sa meilleure performance. Ces premiers résultats vérifient la première hypothèse émise : Les 2 espèces en plantation sur une terre dégradée, ont une capacité de survie appréciable et peuvent bien croître avec ou sans effet de la fumure appliquée.

En 2 ans et 6 mois après plantation, ni la distance de mesure, ni la dose de fumure n'ont eu un effet significatif sur la teneur en éléments chimiques étudiés pour *A. tortilis*. Cependant pour *A. tumida*, seul la dose de fumure a eu effet significatif sur la teneur en 2 éléments chimiques : le P ass et N. Dans le cas de la deuxième hypothèse, seule, l'espèce *A. tumida* tend à la confirmer : Les espèces en plantation peuvent influencer la teneur en certains éléments chimiques sol qui contribuent à améliorer la fertilité du sol.

Sur la base des résultats de notre présente étude (les 2 objectifs pris ensemble), *Acacia tortilis*, sous l'effet des fortes doses de fumure a montré des croissances significatives mais n'a pas

contribué à améliorer la teneur des éléments chimiques. Quant à *Acacia tumida*, elle a donné les meilleures croissances mais pas significatives entre les doses de fumure, elle a aussi amélioré le P ass et le N sous l'effet des fortes doses de fumure.

Comme recommandation, ces deux espèces pourraient donc être proposées dans les initiatives de réhabilitation des terres dégradées. Notamment *A. tumida* qui indique une bonne croissance sans effet de la fumure et contribue à améliorer sous dose de fumure, la teneur en 2 éléments chimiques indispensables pour la fertilité chimique des sols

En perspectives, il serait nécessaire de poursuivre les études :

- Sur l'évaluation des performances de croissance en fonction de la fumure organique notamment pour *A. tumida* afin de statuer sur l'opportunité d'apport de fumure organique pour cette espèce étudiée.
- Sur l'influence des plantules des 2 espèces sur la teneur en éléments chimiques du sol, notamment pour *A. tortilis* afin d'élucider l'effet de cette espèce locale sur les sols dégradés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Afa, F. D., Bechem, E., Andrew, E., Genla, F. G., Ambo, F. B., Ndah, N. R. 2011. Effects of organic and inorganic fertilizers on early growth characteristics of *Khaya ivorensis* Chev (African mahogany) in nursery. African Journal of Plant Science 5 (12): 722-729.
- Akanza K.P., 2015. Effets des fumures sur la fertilité, les composantes de rendement et diagnostic des carences du sol sous culture de manioc sur les ferralols en cote d ' Ivoire. Science de la vie, de la terre et agronomie, REV. CAMES - Vol.03 num.01. 2015, pp. 6-13.
- Alem, S., & Woldemariam, T., 2009. A comparative assessment on regeneration status of indigenous woody plants in *Eucalyptus grandis* plantation and adjacent natural forest. Journal of Forestry Research, 20, 31-36. <http://dx.doi.org/10.1007/s11676-009-0006-2>.
- Alem, S., & Pavlis, J., 2012. Native woody plants diversity and density under *Eucalyptus camaldulensis* plantation, in Gibie Valley, South Western Ethiopia. Open Journal of Forestry, 2, 232-239. <http://dx.doi.org/10.4236/ojf.2012.24029>
- Alem, S., Pavlis, J., Urban, J., Kucera, J., 2015. Pure and mixed plantations of *Eucalyptus camaldulensis* and *Cupressus lusitanica*: Their growth interactions and effect on diversity and density of undergrowth woody plants in relation to light. Open Journal of Forestry, 5, 375-386. <http://dx.doi.org/10.4236/ojf.2015.54032>.
- Amora-Lazcano, E., Guerrero-Zúñiga, L.A., Rodriguez-Tovar, A., Rodriguez-Dorantes, A., Vasquez-Murrieta, M.S., 2010. Rhizospheric plant-microbe interactions that enhance the remediation of contaminated soils. Microbiology Department, National Biological Sciences School, National Polytechnic Institute, 11340, D.F., México, pp. 251-256.
- Amora-Lazcano, E., Guerrero-Zúñiga, L.A., Rodriguez-Tovar, A., Rodriguez-Dorantes, A. and Vasquez-Murrieta, M.S., 2010. Rhizospheric plant-microbe interactions that enhance the remediation of contaminated soils. Microbiology Department, National Biological Sciences School, National Polytechnic Institute, 11340, D.F., México, pp. 251-256
- Arbonnier, M., 2009. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. Troisième édition. CIRAD, MNHN, UICN. 572 p.
- Aronson, J., Floret, C., leFoc'h, E., Ovalle, C., Pontanie, R., 1995. Restauration et réhabilitation des écosystèmes dégradés en zones arides et semi-arides. Le vocabulaire et les concepts. Paris © 1995, pp. 11-29.
- Aune J.B., 2007. Meilleures techniques et approches de développement pour l'amélioration de l'agriculture au Sahel. 34 p.



- Avakoudjo, J., Kindomihou, V., Akponikpe, P.I, Thiombiano, A., Sinsin, B., 2013. Essences végétales et techniques de restauration des zones d'érosion (dongas) du Parc W et de sa périphérie à Karimama (Nord-Bénin). *Journal of Applied Biosciences* 69, pp. 5496 – 5509.
- Barnaud, G. et Chapuis, J.-L., 2004. Ingénierie écologique et écologie de la restauration: Spécificités et complémentarités. *Ingénierie N° spécial 2004*, pp. 123-138.
- Barro. A., 1999. Evaluation de l'effet et de la faisabilité du sol sur le sorgho photosensible Saria (Burkina Faso). Thèse de doctorat de l'université de l'école national supérieure Agronomique de Montpellier. 142 pages.
- Bationo A., Tabo R., Waswa B., Okeyo J, Kihara J., Fosu M. and Kaboré S., 2008. Synthesis of soil, water and nutrient management research in the Volta Basin. 332p
- Bationo, B.A., Ouédraogo, S.J., Guinko, S., 2001. Stratégies de régénération naturelle de *Detarium microcarpum* Guill. et Perr. dans la forêt classée de Nazinon (Burkina Faso). *Fruits*, 56, pp. 271-285.
- Balasubramanian V. et Sekayanga L., 1989. Effets de la culture en couloirs sur les propriétés du sol et les performances des arbustes et des cultures vivrières dans un environnement semi-aride au Rwanda. pp 180-190.
- Bayoulou S., 2013, Effet de la culture du jatropha sur les caracteristiques chimiques des sols dans la zone Ouest du Burkina Faso: cas des sols de tin et de Torokoro. Memoire de fin de cycle en vue de l'obtention du Diplome de Master en Science du sol. Spécialité: Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols. Université Polytechnique de Bobo. 40 p + annexes.
- Bazongo P., Traoré K., Traoré O., Yelemou B., Sanon K.B., Kaboré S., Hien V., et Nacro B.H., 2015. Influence des haies de *Jatropha* sur le rendement d'une culture de sorgho (*Sorghum vulgare*) dans la zone Ouest du Burkina Faso: cas du terroir de Torokoro. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9(6): 2595-2607.
- Berget, A., et Ribot, J.C., 1990. L'arbre nourricier en pays sahélicien Paris, Editions de la Maison des Sciences de l'Homme 237 p.
- Bernhard-Reversat F, Poupon H 1980. Nitrogen cycling in a soil-tree system in a Sahelian savanna, example of *Acacia senegal*. In: Rooswal
- Berte, C.J., Mohamed, M.O. et Saleck, M.O., 2010. Lutte contre l'ensablement: l'exemple de la Mauritanie. FAO, 2010. 76 p.
- Binkley D., 1995. The influence of Tree Species on Forest Soils: Processes and Patterns, In D. I. Mead and I. S. Cornforth, eds. *Proceedings of the Trees and Soil Workshop*, Lincoln University 28 February - 2 March 1994., Vol. 10. Lincoln University Press, Canterbury.

- Binkley D., and Giardina c., 1998. Why do tree species affect soils. The Warp and Woof of tree-soil interactions. *Biogeochemistry* 42:89-106.
- Boffa J. M., Yaméogo G., Nikiéma P. et Knudson D. M., 2000. Field-scale influence of karité (*Vitellaria paradoxa*) on white sorghum production in the Sudan zone of Burkina Faso, West Africa. *Agroforestry systems* 49 (2): 153-175.
- Bognounou, F. 2009. Restauration écologique et gradient latitudinal : utilisation, diversité et régénération de cinq espèces de Combretaceae au Burkina Faso. Thèse de Doctorat, UFR/Sciences de la Vie et de la Terre, Université de Ouagadougou. 123 p + annexes.
- Bognounou, F., Savadogo, M., Boussim, I.J., Guinko, S., 2008. Équations d'estimation de la biomasse foliaire de cinq espèces ligneuses soudaniennes du Burkina Faso. *Sécheresse*, 19, pp. 201-205.
- Bognounou, F., Tigabu, M., Savadogo, P., Thiombiano, A., Boussim, I.J., Odén, P.C. et Guinko, S., 2010. Regeneration of five Combretaceae species along a latitudinal gradient in Sahelo-Sudanian zone of Burkina Faso. *Annals of Forest Science*, Springer Verlag (Germany), 67, 306. 10 p.
- Bonzi M., 2002. Evaluation et déterminisme du bilan de l'azote en sols cultivés du centre du Burkina Faso: Etude par traçage isotopique ^{15}N au cours d'essais en station et en milieu paysan. Doctorat Sciences Agronomiques INLP. ENSAIA, Nancy, 136 p
- Bouxin, G., 1975. Action des feux saisonniers sur la strate ligneuse dans le parc national de l'Akagera. (Rwanda, Afrique Centrale). *Vegetatio*, 30 (3), pp. 189-196. Burkina Faso / ICIV. Université de Toulouse, Université de Ouagadougou, IRBET et MET.
- Breman H. et Kessier J. J., 1995. Wood plants in agro-ecosystems of semi-arid regions, with an emphasis on the Sahelian countries. Springer Verlag, Berlin. 340 p.
- Brittaine R., et Lutaladio N., 2010. *Jatropha*: A smallholder Bioenergy Crop. The Potential for Pro-Poor development. FAO, Vol. 8-2010. 114 p.
- Buldgen A. et Dieng A., 1997. *Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus*: une culture fourragère pour les régions tropicales. Gembloux, Belgique: Les presses agronomiques de Gembloux, 171 p.
- Butare I., Zoundi J.S. et Diallo A., 2004. Leçons tirées des expériences de lutte contre la désertification au sahel. Actes des travaux de l'Atelier sous régional d'échange et de réflexion organisé par le Centre de recherches pour le développement international (CRDI).
- Cazet, M., 1989. Les plantations linéaires denses sur des sols sableux dégradés dans la zone Centre-Nord du Sénégal: comportement et effets sur les cultures adjacentes de quelques espèces locales introduites. *Revue bois et forêts des tropiques*, n° 222, pp. 27-37.

- Cairns, J., 1988. Restoration ecology: the new frontier, in *Rehabilitating damage ecosystems*, Boca Raton, Florida, Cairns J., (ed), CRC Press. Inc., pp. 2-11.
- Campbell C.D., Atkinson D., Jarvis P.G. et Newbould P. 1994. Effects of nitrogen-fertilizer on tree pasture competition during the establishment phase of a sylvopastoral system, *Annals of Applied Biology* 124 (1): 83-96.
- Centre National de Semences Forestières (CNSF)., 2008. Catalogue de semences forestières 2008-2010. 19 p.
- Certini G., Agnelli A., Corti G., et Cappelucci A., 2005. Composition and mean residence time of molecular weight fractions of organic matter extracted from two soils under different forest species. *Biogeochemistry* under press.
- Chenu C., Klumpp K., Bispo A., Angers D., Colnenne C., Metay A., 2014. Stocker du carbone dans les sols agricoles : évaluation de leviers d'action pour la France. *Innovations Agronomiques* 37 (2014), 23-37
- Conedera, M., Bomio-Pacciorini, N., Bomio-Pacciorini, P., Sciacca, S., Grandi, L., Boureima, A., Vettrano, A.M., 2010. Reconstitution des écosystèmes dégradés sahéliens. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 304 (2), pp 61-71.
- Dan, B., Randy, S., Suzanne, B., Thomas, G.C., 2003. Twenty years of stand development in pure and mixed stands of *Eucalyptus saligna* and nitrogen-fixing *Facaltaria moluccana*. *Forest Ecology and Management*, 182, 93-102. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00028-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00028-8)
- Danthu, P., Ndongo, M., Diaou, M., Thiam, O., Sarr, A., Dedhiou, B., Ould Mohamed Vall, A., 2003. Impact of bush fire on germination of some West African acacias. *Forest Ecology and Management* 173, pp. 1-10.
- Dayamba, S. D., 2010. Fire, Plant-derived Smoke and Grazing Effects on Regeneration, Productivity and Diversity of the Sudanian Savanna-woodland Ecosystem. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences. 158 p.
- Debell, D. S., Whitesell, C. D., & Schubert, T. H., 1985. Mixed plantations of eucalyptus and leguminous trees enhance biomass production; Research Paper PSW-175. Berkeley: Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, U.S. Department of Agriculture. 12 p.
- Diallo L., 2002. Effet de l'engrais azoté et du fumier sur le rendement du maïs. Mémoire d'ingénieur du développement rural/Option Agronomie. IDR/UPB. Burkina faso. 53p.
- Diarra B. G., 2009. Influence du phosphore, de l'azote et du houppier sur les rendements du sorgho (*Sorghum bicolor*), les fractions du phosphore et l'activité des microorganismes du

- sol d'un parc agroforestier de la zone soudanienne du Burkina Faso. Mémoire de fin de cycle I DR, Université Polytechnique de Bobo. 85 p + annexes.
- Douamba, W.M.S.F., 2007. Effet du Zaï forestier sur l'évolution de la biodiversité et des paramètres, physiques, chimiques et biologiques du sol. Mémoire d'ingénieur du développement rural, option agronomie. Université polytechnique de Bobo. 127 p + annexes.
- Douamba, W.M.S.F., 2014. Feu et propriétés biogéochimiques des sols en savane soudanienne. Doctorat unique en développement rural, option: Systèmes de Production Végétale, spécialité: Science du sol. 123 p + annexes.
- Duponnois, R., Hafidi, M., Wahbi, S., Sanon, A., Galiana, A., Baudoin, E., Sanguin, H., Bâ, A., Prin, Y. et Bally, R., 2013. La symbiose mycorhizienne et la fertilité des sols dans les zones arides : un outil biologique sous-exploité dans la gestion des terres de la zone sahélo-saharienne. In: Dia, A. et Duponnois, R., 2013. Grande muraille verte, capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux: IRD Éditions, ISBN : 9782709916967. 493 + 691 (Annexes) p.
- Dommergues Y. R., 1987. The role of biological nitrogen fixation in agroforestry. In Steppeler H. A. et Naïr P. K. R., eds. Agroforestry, a decade of development. CIRAf, Nairobi. 245-271.
- Drever J. J., and Stillings L. L., 1997. The role of organic acids in mineral weathering. Colloids and Surfaces, A: Physicochemical and Engineering Aspects 120:167-181.
- Elmer M., La France M., Forster G., and Roth M., 2004. Changes in the decomposer community when converting spruce monocultures to mixed spruce/beech stands. Plant and Soil 264:97-109.
- Feyera S. & Demel T., 2001. Regeneration of Indigenous Woody Species under the Canopy of Tree Plantations in Central Ethiopia. Tropical Ecology, 42, 175-185.
- Feyera, S., Demel, T., Bertake, N., 2002. Native woody species regeneration in exotic tree plantations at Munessa-Shashemene Forest, Southern Ethiopia. New Forests, 24, 131-145.
- Fontes, J., Guinko, S., 1995. Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Ministère de la Coopération Française: projet campus (88 313 101). 67 p.
- Fosu M. et Tetteh F.M., 2008. Soil organic matter and nitrogen in Ghanaian soils: A review. In Synthesis of soil, water and nutrient management research in the Volta Basin. 67- 81
- Gaye A., Sali P. N. & Samba S. A. N., 1998. Bilan des recherches sur les introductions d'acacias australiens au Sénégal. In: Campa C., Grignon C., Gueye M., Hamon S. *L'Acacia au Sénégal*. Colloques et séminaires, ORSTOM Editions, pp. 137-158.

- Ghose, M.K., 2005. Soil conservation for rehabilitation and revegetation of mine-degraded land. *TIDEE – TERI Information Digest on Energy and Environment* 4(2), pp. 137-150.
- Gignoux, J., Clobert, J. et Menaut, J. C., 1997. Alternative fire resistance strategies in savanna trees. *Oecologia*, pp. 576-583.
- Gillespie, T. W., Grijalva, A. et Farris, N. C., 2000. Diversity, composition, and structure of tropical dry forests in Central America. *Plant Ecology*, pp. 37-47.
- Gnankabary Z., 2007. Compost Fertilizer minéralisation effects on Soil land Harvest in Parkland Agroforestry Systems in the South-Sudanese Zone of Burkina Faso. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Umea.
- Goldammer, J. G., 1990. Fire in the tropical biota: ecosystem processes and global changes. *Ecological Studies Springer-Verlag, Berlin*. 497 p.
- Gobat, J., Aragno, M., Matthey, W., 2010. Le sol vivant: Bases de pédologie, Biologie des sols. Ed. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes 3ème éd., 817 p.
- Guénon, R., 2011. Vulnérabilité des sols méditerranéens aux incendies récurrents et restauration de leurs qualités chimiques et microbiologiques par l'apport de compost. Thèse Doctorat, Université Paul Cézanne. Aix-Marseille III. 218 p + annexes.
- Harmer R. (1996) Growth of seedling tree root-systems in competition with grasses, *Aspects of Applied Biology* 44: 47-54.
- Harmand J.-M., Njiti C. F., 1998. Effets de jachères agroforestières sur les propriétés d'un sol ferrugineux et sur la production céréalière. *Jachère agroforestière, Agriculture et développement* n°18 - Juin 1998, 21-28
- Hongve D., van Hees P.A.W, and Lundstrom V.S., 2000. Dissolved components in precipitation water percolated through forest litter. *European Journal of Soil Science* 51:667-677.
- Hountondji, Y.H., 2008. Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal. Thèse, 2008. Faculté des Sciences, Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Liège, 153 p.
- Jaffrain J., 2006. Effet des essences forestières sur le fonctionnement organo-minéral d'un sol acide: observations et modélisations. Thèse de docteur, Nancy 1, 355 p.
- Jung G., 1966. Etude de l'influence de l'*Acacia albida* Del. sur les processus microbiologiques dans le sol et sur leur variation saisonnière. Centre ORSTOM - Dakar, Mimco, 63p.
- Kaboré, C., 2002. Aménagement des forêts au Sahel – Point sur vingt années de pratiques au Burkina Faso; 138 p.

- Keeley, J.E. & Fotheringham, C.J., 2000. Role of fire in regeneration from seed. In *Seeds. The ecology of regeneration in plant communities*. Edited by M. Fenner. CABI Publishing. New York, pp. 311-330.
- Keita M., 1995. Etude sur la commercialisation des produits maraîchers. Projet « Sensibilisation et formation des paysans autour des barrages ». Ouagadougou (BF). 50p.
- Keya, G.A., 1998. Herbaceous layer production and utilization by herbivores under different ecological conditions in an arid savanna of Kenya. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 69 (1), pp. 55-67.
- Konaté, I., 2015. Dégénération des formations végétales en zone tropicale sèche: impact de l'orpaillage à Bounouna et Houlmana (Burkina Faso)-Perspectives de restauration des terres dégradées. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural. Centre Universitaire Polytechnique de Dédougou ; Burkina Faso. 79 p.
- Kristensen, M. et Balslev, H., 2003. Perceptions, use and availability of woody plants among the Gourounsi in Burkina Faso. *Biodiversity and Conservation*, 12(8), pp. 1715-1739.
- Ky-Dembele, C., Tigabu, M., Bayala, J., Ouédraogo, S.J., and Odén, P.C., 2007. The relative importance of different regeneration mechanisms in a selectively cut savanna- woodland in Burkina Faso, West Africa. *Forest Ecology and Management*, 243, pp. 28-38.
- Lal, R., Griffin, M., Apt, J., Lave, L., Granger Morgan, M., 2004. Managing Soil Carbon. *Science* 304 no. 56, p. 393.
- Lamb, D., Erskine, P. D., Parrotta, J. A., 2005. Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science*, 310, 1628-1632. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1111773>
- Laminou Manzo, L.O., Campanella, B. et Paul, R., 2009. Sélection d'espèces ligneuses adaptées à la fixation biologique de dunes au Niger. *Geo-Eco-Trop.*, 2009, 33, n.s, pp. 99 – 106.
- Linn, D.M., Carski, T.H., Brusseau, M.L., Chang, F.H., (Eds), 1993. Sorption and Degadation of Pesticides and Organic Chemicals in Soil. Soil Science Society of America, Madison, WI, 260 p.
- Loi N° 036-2015/AN portant code minier au Burkina Faso.
- Lompo D., 1999. Etude de la croissance de quelques especes ligneuses en plantation dans la forêt classée de gonsé: *acacia albida* del., *azadirachta indica* a. juss., *eucalyptus camaldulensis* delmh., *parkia biglobosa* (jacq.) benth. et *ziziphus mauritiana* lam. Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur du développement rural option: eaux et forêts. Université Polytechnique de Bobo (UPB). 92 p + annexes.
- Lompo F., Bonzi M., Bado B. V., Gnankambary Z., Ouandaogo N., Sedogo P. M., Assa A., 2008. Influence à long terme des modes de gestion de la fertilité sur les états, les formes, les

- fractions et le bilan du phosphore d'un lixisol du Burkina en culture de sorgho. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 2, 175 - 184
- Lundstrom D., and Öhman L.-O., 1990. Dissolution of feldspars in the presence of natural organic solutes. *Eur. J. Soil. Sci.* 41 :359-368.
- Mando, A., Ouattara, B., Se'dogo, M., Stroosnijder, L., Ouattara, K., Brussaard, L., Vanlauwe, B., 2005. Long-term effect of tillage and manure application on soil organic fraction and crop performance under Sudano-Sahelian conditions. *Soil Till. Res.* 80, 95–101.
- Martin M.P., Wattenbach M., Smith P., Meersmans J., Jolivet C., Boulonne L., Arrouays D., 2011. Spatial distribution of soil organic carbon stocks in France. *Biogeosciences* 8, 1053-1065.
- MEDD, 2012. Plan de Préparation à la REDD (Réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts) (R-PP – Burkina Faso) 09 Avril 2012. 169 p.
- MEDD/R-PP. Ministère de l'environnement et du développement durable. *Etude prospective sur la filière coton.*
- Menaut, J.- C. & Solbrig, O.T., 1991. Savanna modelling for global change: report of a workshop held at the Harvard forest, Petersham, Mass. U.S.A., 15 October, 1990. International Union of Biological Sciences. Paris. 47 p.
- Métral R., 2007. Etude de la diversité de la pédofaune dans les systèmes agroforestiers. Groupe de Travail- GT6.46 p.
- Ministère de l'Economie et des Finances(MEF), Ministère de l'Environnement et du Développement durable (MEDD), 2010. Annuaire des statistiques de l'environnement 2010, Statistics Sweden international consulting office. 119 p.
- Mordelet P., Abbadie L. et Menaut J. C., 1993. Effects of tree clumps on soil characteristics in a humid savanna of West Africa (Lamto, Côte-d'Ivoire). *Plant and soil*, 153: 103-111.
- Moreno G., Obrador J.J., Cubera E. and Dupra, C., 2005. Fine root distribution in Dehesas of Central-Western Spain. *Plant and Soil*, 277(1-2): 153- 162.
- Moukoudi J., 2006. Effet des essences forestières sur la biodégradation des matières organiques : impact sur la dynamique et le cycle du carbone, de l'azote et des éléments minéraux., Université Henri Poincaré, Nancy.
- Ndour, P. & Danthu P., 1998. Effets des contraintes hydriques et salines sur la germination de quelques acacias africains. In: Campa C., Grignon C., Gucye M., Hamon S., 1998. *L'Acacia au Sénégal*. Colloques et séminaires, ORSTOM Editions, pp. 105-122.

- 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; Paris 6 ; 328p.
- Nwoke O. c., Vanlauwe B., Diels J., Sanginga N., Osonubi O., Merckx R., 2003. Assessment of labile phosphorus fractions and adsorption characteristics in relation to soil properties of West African savanna soils. *Agriculture Ecosystems and Environment* 100, 285 - 294.
- ONG REACH, 2009. Récupération des sols fortement dégradés à des fins sylvo-pastorales. 29 p + annexes.
- Ouattara I., Yanes N.C., et Traore B., 2010. Note sectorielle sur l'énergie au Burkina Faso. Direction de la Prospective et de l'Intelligence Economique (DPIE)/Chambre de Commerce et d'Industrie du Burkina Faso. 12 p.
- Ouattara, K., Ouattara, B., Ayemou, A., Sédogo, P.M., 2006. Long-term effect of ploughing, and organic matter input on soil moisture characteristics of a Ferric Lixisol in Burkina Faso. *Soil Till. Res.* 88: 217–224.
- Ouédraogo N. M., 2003. Influence de différentes herbacées sur les indicateurs chimiques et biologiques de la fertilité des sols. Mémoire de fin d'études d'Ingénieur du développement Rural (IDR), Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, 72 p + annexes.
- Ouédraogo, M. et Nianogo J.A., 2006. Exploitation du bois-énergie en milieu rural burkinabè : un moyen de lutte contre la pauvreté. In K. Ouédraogo, J. Somda, I. Tapsoba & A.J. Nianogo: Énergies traditionnelles au Burkina Faso, Études sur le bois-énergie, Bureau national du Burkina Faso. 193 p.
- Ouédraogo A., (2009). Etude des modes de gestion des ressources pastorales dans les zones de Sambonaye et Darkoye en région sahélienne du Burkina Faso. Mémoire de cycle Ingénieur Zootechnie, IPR/IFRA de Katibougou(Mali). 61 pages.
- Ouédraogo-Koné, S., Kaboré-Zoungana., C.Y. and Ledin, I., 2008. Important characteristics of some browse species in an agrosilvopastoral system in West Africa. *Agroforestry Syst.*, 74, pp. 213-221.
- Rakotoarimanana, V., Grouzis, M. et Le Floch, E., 2008. Influence du feu et de la pâture sur l'évolution de la phytomasse d'une savane à *Heteropogon contortus* de la région de Sakaraha (sud-ouest) de Madagascar. *Tropicultura* (26), 1, pp. 56-60.
- Rietkerk, M., Blijdorp, R. and Slingerland, M., 1998. Cutting and resprouting of *Detarium microcarpum* and herbaceous forage availability in a semiarid environment in Burkina Faso. *Agroforestry System* 41 (2), pp. 201-211.

- Raulund-Rasmussen K., Borggaard O.K., Hansen H.C.B., and Olsson M. 1998. Effect of natural organic soil solutes on weathering rates of soil minerals. *European Journal of Soil Science* 49:397-406.
- Rhoades C., 1995. Seasonal pattern of nitrogen mineralization and soil moisture beneath *Acacia albida* (syn. *Faidherbia albida*) in central Malawi. *Agroforestry systems*. 29 (2): 133-145.
- Roose, E., 2007. Restauration de la productivité des sols tropicaux. Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007. Montpellier cedex 5, France. 6 p.
- Roose, E., Kabore V., Guenat C., 1995. Le zaï, une technique traditionnelle africaine de réhabilitation des terres dégradées de la région soudano-sahélienne (Burkina Faso), ORSTOM, BP 5045, 34032 Montpellier Cedex 1, France, Laboratoire de Pédologie, IATE, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse. Paris © 1995, pp. 249-265.
- Roussel, J., 1984. Germination des semences forestières. Utilisation de l'acide sulfurique concentré en prétraitement des semences: des principales espèces sahéliennes, soudanaises, sahéliennes et exotiques. 7 p.
- Rykiel, E. J., 1985. Towards a definition of ecological disturbance. *Australian Journal of Ecology*, pp. 361-365.
- Salawu, A., 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. Doctorat d'état ès-sciences naturelles. Université Polytechnique de Bobo, Burkina Faso. 201 p + annexes.
- Sanou, L., 2013. Perceptions locales des perturbations écologiques et de leur influence sur la banque de semences du sol et la régénération dans la Réserve de Biosphère Transfrontalière, Parc W. Mémoire de DEA, Université de Ouagadougou, Burkina Faso. 110 p + annexes.
- Savadogo, M., Somda, J., Seynou, O., Zabré, S., et Nianogo, A. J., 2011. Catalogue des bonnes pratiques d'adaptation aux risques climatiques au Burkina Faso. Ouagadougou, Burkina Faso: UICN, Burkina Faso. 52 p.
- Savadogo, P. and Elfving B., 2007. Prediction models for estimating available fodder of two savanna tree species (*Acacia dudgeoni* and *Balanites aegyptiaca*) based on field and image analysis measures. *African Journal of Range & Forage Science*, 24(2), pp. 63 – 71.
- Savadogo, P., 2007. Dynamics of Sudanian Savanna-Woodland Ecosystem in Response to Disturbances. Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences. 53 p.
- Savadogo, P., Tigabua, M., Sawadogo, L. and Odén, P.C., 2008. Examination of multiple disturbances effects on herbaceous vegetation communities in the Sudanian savanna-woodland of West Africa. *Flora* (2009), doi: 10.1016/j.flora, pp. 2-14.



- Sawadogo H., Bock L., Lacroix D., et Zombré N.P., 2008. Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zaï et du compost dans le Yatenga (Burkina Faso). BASE - volume 12 (2008) numéro 3, pp. 1-18
- Sawadogo, L., 2009. Influence de facteurs anthropiques sur la dynamique de la végétation des forêts classées de Laba et de Tiogo en zone soudanienne du Burkina Faso. Thèse de Doctorat d'Etat des Sciences Naturelles, 2009, Laboratoire de Biologie et Ecologie Végétales, Université de Ouagadougou. 181 p.
- Sawadogo O., 2002. L'influence des modes de gestion de la fertilité sur le statut du phosphore d'un sol ferrugineux tropical. Mémoire d'ingénieur du Développement Rural (IDR).66p
- Schulze E.D., Beck E., and Müller-Hohenstein K., 2005. Plant Ecology. Springer Berlin, Heidelberg.
- Sédogo, P.M., 1981. Contribution à l'étude de la valorisation des résidus culturels en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride. M.O du sol, nutrition azotée des cultures. Thèse Doctorat Ingénieur, Institut national de Lorraine, Nancy. 198 p.
- Sédogo, P.M., 1993. Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture: incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de Doctorat en science biologique. Université d'Abidjan. 343 p.
- SER, 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. Version 2. Society for Ecological Restoration International Science and Policy Working Group. [Online report accessed 27 March 2015].
- Shackleton, C. M., 2000. Comparison of plant diversity in protect and communal lands in the Bushbuckridge lowed savanna, South Africa. Biological Conservation, pp. 273-285.
- Sheoran, V., Sheoran, A.S. and Poonia, P., 2010. Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: a review. International Journal of Soil, Sediment and Water, Vol. 3 [2010], Iss. 2, Art. 13 ISSN: 1940-3259. 21 p.
- Simula, M., 2009. Vers une définition de la dégradation des forêts : analyse comparative des définitions existantes. Forest Resources Assessment Working Paper – 154. Rome, Italie, Septembre 2009. 63 p.
- Singh, A. N., A. S. Raghubanshi, and J. S. Singh., 2002. Plantations as a tool for mine spoil restoration. Current Science 82, pp. 1436-1441.
- Singh, A.N., Raghubanshi, A.S., Singh J.S., 2003. Impact of native tree plantations on mine spoil in a dry tropical environment. Department of Botany, Banaras Hindu University, Varanasi 221 005, India. Forest Ecology and Management, pp.49-60.

- Soltnner D., 1994. Les bases de la production végétale. Tome 1: Le sol et son amélioration. Sciences et techniques agricoles. 464p
- Staden, J., Brown, A.C.N., Jäger, A.K., Johnson, T.A., 2000. Smoke as a germination cue. *Plant Species Biol.* 15, pp. 167–178.
- Tassambédo M., 2001. Amélioration de la fertilité des sols sous couverture à *Andropogon gayanus* et à *Andropogon asciodis* : effets sur le raccourcissement de la jachère sur un sol ferrugineux tropical lessivé de Sobaka (zone soudanienne du Burkina Faso). Suivi de la structure spatio-temporelle des communautés végétales dans les jachères de courtes durées. Mémoire de fin de cycle d'études IDR, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, 89 p + Annexes.
- Teketay, D., 1997. Seedling populations and regeneration of woody species in dry Afromontane forests of Ethiopia. *Forest Ecol. Manage.* 98, 149–165.
- Turner, M. G., Collins, S. L., Lugo, A. E., Magnuson, J. J., Rupp, T. S. et Swanson, F. J., 2003. Disturbance dynamics and ecological response: The contribution of long-term ecological research. Université de Bordeaux III, UFRJ Aménagement et Ressources Naturelles. BioScience, pp. 46-56.
- Tordoff, G.M., Baker, A.J.M., Willis, A.J., 2000. Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. *Chemosphere.* 2000;41, pp. 219-228
- Traoré S. S. H, (2012). Effets agro-pédologiques des modes de gestion à long terme des nutriments sous système de production à base de coton au Burkina Faso : cas des essais longs durés de Saria et de Farako-Bâ. Mémoire de fin de cycle. IDR, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 33p.
- Tsague, G.E., 2005. La compaction des sols : Les causes et les solutions. 5 p.
- Tyano A., 2016. Impact des formations à *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst sur la régénération de la végétation et les propriétés chimiques et biologiques du sol en zone soudanienne du Burkina Faso. Mémoire de fin d'étude IDR Centre universitaire polytechnique de Dédougou. 68 p + annexes.
- UICN, 2005. Restauration des paysages forestiers : Une vision plus large des forêts d'Afrique de l'Ouest. 8 p.
- von Maydell, H.-J., 1992. Arbres et arbustes du sahel: leurs caractéristiques et leurs utilisations. Verlag Josef Margraf Mühlstraße 9, D-6992 Weikersheim. 531 p.
- Walkey A. & Black I.A., 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter arid a proposed chromic acid titration method. *Soil Science* 37, 29-38

- Watkinson, A.R. and Ormero, S.J., 2001. Grasslands, grazing and biodiversity: editors' introduction. *Journal of Applied Ecology*, 38 (2), pp. 233-237.
- Yélemou B., Yaméogo G. & Bationo B.A., 2013. Le *Piliostigma reticulatum* au Burkina Faso une espèce qui sort de l'ombre. *Sahel agroforesterie* numéro 18-Janvier-Décembre 2013, pages 6 et 7
- Yougbaré H., 2008. Evaluation de la fertilité des terres aménagées en cordons pierreux, zaï et demi-lunes dans le bassin versant du Zondoma. Mémoire IDR/Agronomie; UPB-Bobo, 55p.
- Young A., 1989. Agroforestry for soil conservation. CIRAF, Nairobi. 276p.
- Zida, D., 2007. Impact of forest management regimes on ligneous regeneration in the Sudanian savanna of Burkina Faso. Thèse de Doctorat. Swedish University of Agricultural Sciences. 44 p.
- Zida, D., Sawadogo, L., Tigabu, M., Tiveau, D. and Oden, P.C., 2007. Dynamics of sapling population in savanna woodlands of Burkina Faso subjected to grazing, early fire and selective tree cutting for a decade. *Forest Ecology and Management* 243 (2007), pp. 102–115.
- Zida, D., Tigabu, M., Sawadogo, L. and Oden, P.C., 2008. Initial seedling morphological characteristics and field performance of two Sudanian savanna species in relation to nursery production period and watering regimes. *Forest Ecology and Management* 255 (2008), pp. 2151–2162.
- Zou J., et Cates R.G., 1997. Effects of terpenes and phenolic and flavonoid glycosides from Douglas fir on Western spruce budworm larval growth, pupal weight, and adult weight. *Journal of Chemical Ecology* 23 : 2313-2326.

WEBOGRAPHIE

unt.unice.fr/uoh/degsol/

www.azote.info, consulté le 05 Mai 2018

www.gissol.fr, consulté le 05 Mai 2018

climatdeveloppement.org/la-situation-energetique-de-lafrique, consulté le 02 Mai 2018)

ANNEXE

