

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	iii
REMERCIEMENTS	iv
SIGLES ET ABREVIATIONS	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	vii
RESUME	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1.1. <i>Jatropha curcas</i> L.....	4
1.1.1. Description, origine et taxonomie	4
1.1.2. Ecologie	5
1.1.3. Importance	5
1.1.3.1. Domaine agricole et environnemental.....	5
1.1.3.2. Domaine économique et social.....	7
1.2. Biologie du sol.....	7
1.2.1. Microorganismes minéralisateurs du carbone et de l'azote.....	8
1.2.1.1. Minéralisation de l'azote	8
1.2.1.2. Minéralisation du carbone	8
1.2.2. Mycorhizes	9
1.2.2.1. Définition et concepts.....	9
1.2.2.2. Bénéfices de la symbiose mycorhizienne	11
1.3. Effet de la plante sur les propriétés du sol.....	13
1.3.1. Propriétés physiques	13
1.3.2. Propriétés chimiques.....	14
1.3.3. Propriétés biologiques	15
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES	17
2.1. Sites d'étude	18
2.1.1. Site de Tin.....	18
2.1.2. Site de Torokoro	19
2.2. Choix des sites et des producteurs.....	19
2.3. Parcelles étudiées.....	20

2.3.1. Choix des parcelles	20
2.3.2. Dispositif de collecte des données.....	20
2.4. Collecte des échantillons de sol.....	21
2.5. Paramètres analysés	21
2.5.1. Paramètres chimiques	21
2.5.2. Paramètres biologiques.....	22
2.3.4. Analyses statistiques.....	26
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	27
3.1. Résultats	28
3.1.1. Variation des paramètres chimiques des sols sous culture de <i>Jatropha</i>	28
3.1.2. Variation des paramètres biologiques des sols sous culture de <i>Jatropha</i>	29
3.1.3. Relations entre variables chimiques et biologiques sous culture de <i>Jatropha</i>	33
3.2. Discussion.....	35
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	38
BIBLIOGRAPHIE	40
ANNEXES	I

DEDICACE

- *A mon Père et à ma Mère, pour leur soutien sans faille au cours de cette aventure. Que ce travail soit pour vous, le témoignage de toute ma reconnaissance;*
- *A mon épouse et à mes enfants pour avoir supporté les moments difficiles qui ont jalonné ce parcours de combattant. Ce travail est le signe de ma gratitude.*

REMERCIEMENTS

Au terme de ce présent stage, nous tenons à remercier sincèrement:

- ✓ Pr Georges Anicet OUEDRAOGO, Président de l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (U.P.B.) pour nous avoir accepté à l'université de Bobo-Dioulasso ;
- ✓ Pr Irénée SOMDA, Directeur de l'Institut du Développement Rural (I.D.R.) pour son appui pour le transfert de notre bourse d'étude et pour la formation reçue ;
- ✓ Dr Jacob SANOU, Directeur Régional de Recherches Environnementales et Agricoles (D.R.R.E.A)/Ouest pour nous avoir accueilli dans sa structure pour le stage ;
- ✓ Dr Karim TRAORE, Chargé de Recherches en Agro-pédologie, maître de stage de ce travail, et qui n'a ménagé aucun effort pour la réussite du présent document ;
- ✓ Dr Mamadou TRAORE, notre directeur de mémoire, pour sa contribution à la réalisation de ce mémoire ;
- ✓ Dr Bernard BACYE, coordonnateur du Master GIFS pour sa rigueur dans notre encadrement, toute chose qui nous a permis d'améliorer la qualité de ce travail ;
- ✓ Pr Hassan Bismarck NACRO ex coordonnateur du Master GIFS pour nous avoir bien introduit à l'IDR/UPB et surtout pour la qualité de ses enseignements ;
- ✓ Pr Victor HIEN, coordinateur du projet UA-*Jatropha* et au Dr Barthélémy YELEMOU pour la réalisation de ce stage ;
- ✓ M. Salfo KONKISSERE, Directeur Régional de l'Agriculture et de la Sécurité Alimentaire des Cascades et ses collaborateurs pour leurs soutiens multiformes pour que cette formation soit une réalité ;
- ✓ Secrétariat Général de la Fondation Jean Paul II pour le Sahel pour avoir financé entièrement notre formation ;
- ✓ Abbé Patrick COULIBALY et à M. Félix KONE, tous de l'OCADES de Banfora pour nous avoir guidé dans la gestion du financement;
- ✓ le chef du programme GRN/SP et ses techniciens pour leurs appuis dans nos travaux de recherche ;
- ✓ Dr Kadiatou SANON, Maître de Recherche en Microbiologie Forestière pour nous avoir bien accueilli au DPF/CNRST et pour son encadrement qui nous a permis de bien cadrer les travaux de laboratoire ;
- ✓ Dr Salawu ASIMI, chef du laboratoire de microbiologie forestière au DPF/CNRST, et ses techniciens pour nous avoir bien appuyé dans les travaux de recherche ;
- ✓ M. Pascal BAZONGO, Doctorant en Science du Sol pour son encadrement et sa franche collaboration ;

- ✓ les stagiaires du DPF notamment à M. Hadou HARO pour son encadrement ;
- ✓ toute la famille BELEM et particulièrement à Hamidou BELEM et Relwendé Jean Noel BELEM pour leurs appuis multiformes qui ont contribué au succès de ce travail;
- ✓ nos amis Edouard B. ILBOUDO, Mathieu W. SAWADOGO et au commissaire Hunkami TAMINI pour leur soutien durant la formation ;
- ✓ nos camarades de Master GIFS et aux autres promotionnaires du CAP / Matourkou pour leurs franches collaborations.

Puisse le Seigneur Tout Puissant vous fasse prospérer à tous égards.

SIGLES ET ABREVIATIONS

APROJER : Association pour la Promotion du *Jatropha* et des Energies Renouvelables

BUNASOLS : Bureau National des Sols

CNRST : Centre National de Recherches Scientifiques et Techniques

CAP/M : Centre Agricole Polyvalent de Matourkou.

D.R.R.E.A : Direction Régionale de Recherches Environnementales et Agricoles.

DPF : Département Productions Forestières

G.I.R.N. : Gestion Intégrée des Ressources Naturelles.

G.R.N./S.P : Gestions des Ressources Naturelles/Systèmes de Production.

GIFS : Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols

IDR : Institut du Développement Rural

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

ICRAF : International Center For Research in Agroforestry

IN.E.RA : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles.

ITAB : Institut Technique de l'Agriculture Biologique

MARA : Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales.

O.N.G : Organisation Non Gouvernementale.

Pas : Phosphore assimilable.

PEM : Pouvoir Endomycorhizogène

R.I.P.I.E.C.S.A. : Recherches Interdisciplinaires et Participatives sur les Interactions entre les Ecosystèmes, le Climat et les Sociétés en Afrique de l'Ouest.

S.E.P : Sol-Eau-Plante.

S.P.V : Systèmes de Production Végétale.

SEEA : Surface Economique Equivalente de l'Agroforesterie

UA-*Jatropha* : Union Africaine *Jatropha*

U.P.B : Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso.

VRFA: Valeur de Remplacement en Fertilisation Azotée.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Variation des paramètres chimiques des sols en fonction de la distance du houppier du <i>Jatropha</i>	29
---	----

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Endomycorhize dans les cellules de l'hôte végétal (Brundrett <i>et al.</i> , 1984).....	10
Figure 2: Placette délimitée chez chaque producteur	20
Figure 3 : Bocal contenant un échantillon de sol plus deux flacons contenant de la soude et de l'eau (a) et un bocal témoin contenant uniquement de l'eau et de la soude (b).	23
Figure 4 : Echantillons de sol en fumigation dans un dessiccateur (a) et un bocal et son témoin près à être incubés (b).....	24
Figure 5 : Tamisage humide des échantillons de sol (a), récupération des échantillons après centrifugation (b).....	25
Figure 6 : Rinçage des spores sur un tamis de 50 µm pour l'observation.....	26
Figure 7 : Evolution du dégagement journalier du CO ₂ durant 21 jours d'incubation en fonction de la distance du houppier du <i>Jatropha</i> à Torokoro.	30
Figure 8 : Evolution du dégagement journalier du CO ₂ durant 21 jours d'incubation en fonction de la distance du houppier du <i>Jatropha</i> à Tin.	31
Figure 9 : Variation du cumul C-CO ₂ dégagé des sols sous culture de <i>Jatropha</i>	31
Figure 10 : Variation de la biomasse microbienne des sols sous culture de <i>Jatropha</i>	32
Figure 11 : Variation de la biomasse en spores des champignons endomycorhiziens des sols sous culture de <i>Jatropha</i>	33
Figure 12 : Relation entre la quantité de MO et le dégagement cumulé en C-CO ₂ en mg pour 100 g de sol à Torokoro et à Tin.....	34
Figure 13 : Relation entre la matière organique du sol et la biomasse microbienne à Torokoro et à Tin.....	34
Figure 14 : Relation entre la biomasse mycorhizienne et la quantité de P assimilable du sol sur le site Torokoro et de Tin.	35

RESUME.

Jatropha curcas L., connu sous le nom de Pourghère, est une plante à plusieurs attributs et qui a suscité l'intérêt sous les tropiques comme culture potentielle de biocarburants. A ce jour, très peu de résultats existent au Burkina Faso sur l'effet de cette plante sur les propriétés biologiques du sol. Cette étude qui porte sur l'effet de sa culture sur les propriétés biologiques du sol s'est déroulée dans les villages de Torokoro et de Tin, situés dans la zone Ouest du Burkina Faso. L'objectif général est de contribuer à une meilleure connaissance du *Jatropha* afin de permettre une bonne intégration de la culture dans les systèmes de production actuels. Pour ce faire, nous avons délimité une placette de 400 m² chez trois (3) producteurs de *Jatropha* dans chaque site. Des prélèvements d'échantillons de sol suivis de mesures des paramètres chimiques et biologiques du sol à trois (3) distances (sous le houppier, à 1 m et à 2 m du houppier) de l'arbre ont été effectués.

Les résultats obtenus révèlent que les teneurs des paramètres chimiques comme le pH, la matière organique, l'azote total et le phosphore assimilable diminuent au fur et à mesure que la distance du prélèvement s'éloigne du houppier de l'arbre dans le site de Tin. Cette même tendance a été observée dans le site de Torokoro hors mis la teneur en phosphore assimilable qui affichait une augmentation de 8,5% à 13,33% respectivement à 1 m et 2 m par rapport au houppier. Les propriétés biologiques du sol ont aussi connu des variations lors de l'étude. La respiration du sol et la biomasse microbienne ont varié selon les sites mais montrent toutes une baisse au fur et à mesure que le prélèvement s'éloignent du pied de l'arbre dans l'ensemble des sites.

La biomasse des spores endomycohiziennes a diminué de 4,62 à 6,90% respectivement à 1 m et à 2 m du houppier de l'arbre à Torokoro. A Tin, c'était l'effet contraire puisque la biomasse des spores augmente de 16,01% à 21,95% respectivement à 1m et à 2 m par rapport au houppier.

Les paramètres chimiques et la biologiques étudiés ont donc varié selon les distances sous culture pure de *Jatropha*. Les valeurs plus élevées de l'activité biologique et de la biomasse microbienne du sol au voisinage de l'arbre montrent que *Jatropha curcas* influe sur ces paramètres selon les distances à son houppier. La biomasse en spores endomycorhiziennes est aussi liée à la richesse chimique du sol.

Mots clés: *Jatropha*, biologie du sol, endomycorhize, Burkina Faso.

ABSTRACT

Jatropha curcas L., known under the name as Pourghère, is a plant which many attributes and raised interest in the tropics as a potential biofuels. Nowadays, very few results exist in Burkina Faso on the effect of this plant on the biologic properties of soil. This study which relates to the effect of this plant on the biologics proprieties of the soil took place in the Torokoro and Tin villages, both of them located in the west of the Burkina Faso. The general objective is to contribute to a better knowledge of *Jatropha* in order to permit a good integration of this culture in the present systems of production.

To do it, we settled a device of 400 m² in the sites of three (3) farmers of *Jatropha*. Samplings of soil followed by measurements of the chemical and biological parameters of the soil to three (3) distances (under the houppier, to 1 m and 2 m of the houppier) from the tree were carried out.

The results reveal that the pH, the organic matter, the total nitrogen and the phosphorus which can be assimilated meet a reduction of their intensity as soon as we go far from the houppier at Tin. The site of Torokoro keeps this trend out of the intensity of the assimilated phosphorus which showed an increase of 8.5% to 13.33% precisely at 1 m and 2 m in comparison with the houppier. The biologic properties of the soil also underwent variation during the study. The breath of the soil and the microbial biomass varied from one site to another but they all showed a decrease as we go far from the *Jatropha* tree in all sites. The endomycorrhizals biomass spores decreased from 4.62 to 6.90% respectively in 1 m and 2 m in the houppier at Torokoro. At Tin, it was the opposite effect because the biomass spores increased from 16.01 to 21.95 precisely at 1 m and at 2 m in comparison with the houppier.

The soil chemical and biologics parameters had an effect therefore under culture of *Jatropha*. The values more rose of the biologic activity and the microbial biomass of soil in the neighborhood of the tree show that *Jatropha* change these parameters according to houppier distances The endomycorrhizals biomass spores are also enhanced to the chemical wealth of soil

Key words: *Jatropha*, biology of the soil, endomycorrhizae, Burkina Faso.

INTRODUCTION GENERALE

Les perspectives d'épuisement des réserves des combustibles fossiles, les défis environnementaux et le respect des conventions internationales sur les émissions de gaz à effet de serre représentent des enjeux importants pour les pays en développement. L'engagement de ces pays à la promotion des biocarburants dont le biodiesel durant ces dernières années s'inscrit dans ce cadre (Blind *et al.*, 2008).

A cet égard, *Jatropha Curcas* L. (Pourghère ou Purghère en Français) est une espèce végétale qui permet d'avoir un biocarburant de première génération (Pellet *et al.*, 2007) et est depuis longtemps considéré comme une piste sérieuse pour atténuer l'émission des gaz à effet de serre (Spiegel-Online, 2008; Neff *et al.*, 2008; Endelevu Energy, 2009). La plante s'adapte aux conditions pédoclimatiques particulières (Ouédraogo, 2000). Münch *et al.* (1986) avaient émis une hypothèse de mycorhization soutenue qui compensait l'alimentation du pourghère dans les sols pauvres.

Au Burkina Faso, sa production s'est développée ces dernières années grâce à plusieurs projets de développement (Somé, 2009). A l'ouest du pays, plus de 10000 hectares ont été emblavés par près de 200 groupements villageois (Ouédraogo, 2008 ; Bazongo, 2011).

De même, Henning *et al.* (2005) trouvent qu'un système à base du *Jatropha* obéit à une approche de développement rural intégré parce que la plante est polyvalente. Le système *Jatropha* couvre quatre (4) aspects principaux du développement rural que sont: la promotion des femmes à travers la production de savon local, la réduction de la pauvreté par la vente des graines, le contrôle de l'érosion par l'effet des haies de plantation, l'énergie renouvelable fournie pour l'éclairage, la cuisson et les groupes électrogènes en milieu rural (Henning *et al.*, 2005; Blind *et al.*, 2008). Traoré *et al.* (2012) citent une teneur élevée en azote des tourteaux des graines. Neff *et al.* (2008) trouvent que la culture est en vogue et que son introduction est justifiée pour bon nombre de mouvements écologiques et Organismes Non Gouvernementaux (ONG) environnementaux.

Cependant, certains auteurs comme Low *et al.* (2007), Hänggi (2008) et Endelevu Energy, (2009) trouvent que le *Jatropha* est envahissant. La difficulté à contrôler son expansion a conduit l'Australie occidentale à interdire sa culture en 2006 (Domergue *et al.*, 2008). La possibilité que cette culture entre en compétition avec les cultures vivrières a été évoquée par Lottman (2008). Guillaume (2009) soutient le caractère invasif en évoquant un risque d'insécurité alimentaire.

Aussi, est-il nécessaire de souligner la non maîtrise de son itinéraire technique (Domergue *et al.*, 2008; Guillaume, 2009 ; Coulibaly et Grog, 2009).

En outre, le *Jatropha* est une plante toxique (Aregheore *et al.*, 1998; Domergue *et al.*, 2008). Il contient de l'acide cyanhydrique extrêmement toxique, ainsi qu'une lectine, plus précisément une toxalbumine appelée curcine (Münch *et al.*, 1986 ; Henning *et al.*, 2005 ; Endelu Energy, 2009). La curcine est une substance proche de la ricine (toxine du Ricin) qui a des propriétés insecticides, fongicides et nématicides (Ratnadass, 1997 ; Vedie *et al.*, 2005 ; Ogbebor *et al.*, 2007). Une réduction de 63% de la population des nématodes à galles principalement *Meloïdogyne incognita* et *Meloïdogyne arenaria* est obtenue avec les exsudats racinaires du ricin (Vedie *et al.*, 2005). C'est ainsi qu'on se dit que, si la biologie du sol a comme support énergétique la matière organique (Sedogo, 1993 ; Nacro, 1997) et que l'échange d'énergie entre la plante et son milieu transforme fondamentalement le sol (Girard *et al.*, 2011), quel peut être l'effet du *Jatropha* sur la biologie du sol?

D'où le thème «Effet de la culture de *Jatropha* sur les propriétés biologiques des sols dans les exploitations de la zone Ouest du Burkina Faso».

Cette étude vise une meilleure connaissance du *Jatropha* afin de permettre une bonne intégration de la culture dans les systèmes de production actuels.

L'atteinte de cet objectif de recherche a nécessité une caractérisation des sites d'études, et des analyses de paramètres chimiques et biologiques d'échantillons de sol. L'essentiel des travaux a permis de vérifier deux hypothèses que sont:

- a) L'activité biologique et la biomasse microbienne du sol changent selon la distance au houppier du *Jatropha*.
- b) Le pouvoir endomycorhizogène du sol en termes de biomasse en spores augmente sous culture de *Jatropha*.

Pour rendre compte de nos résultats de recherche, nous avons organisé le présent mémoire sur trois chapitres: le premier chapitre présente une synthèse de littérature sur le sujet, le deuxième décrit la méthode de recherche et enfin le troisième chapitre porte sur les résultats et discussion.

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. *Jatropha curcas* L.

1.1.1. Description, origine et taxonomie

L'origine du *Jatropha* est controversée. Certains auteurs la situent dans les régions sèches du Brésil notamment à Caatingao, Etat de Ceara alors que pour d'autres, ce serait plutôt l'Amérique centrale ou le Mexique (Wilbur, 1997). En Afrique, Henning *et al.* (2005) confirment sa provenance Mexicaine et précisent que son introduction dans les différents pays fut l'œuvre des marins Portugais via les îles du Cap Vert. Son aire de distribution naturelle se situe principalement dans les zones arides et semi-arides (Jones et Miller, 1992 ; Makkar *et al.*, 1997) mais on le rencontre également dans les régions tropicales humides.

De nom scientifique *Jatropha curcas* Linnaeus, et de nom commun pourghère ou pignon d'Inde en Français, physic nut en Anglais, mbono en Swahili et wanbonbangma en Mooré, le *Jatropha* est une plante de la famille des *Euphorbiaceae* (Henning, 2002; Endelevu Energy, 2009). La plante est un arbuste qui peut atteindre une hauteur de 10 m et peut vivre plus de 50 ans (Henning *et al.*, 2005; Domergue *et al.*, 2008). Sa production est possible par graine et par bouturage (Henning *et al.*, 2005), mais dans un environnement favorable (principalement humide). Les plantes issues de boutures se développent plus vite que celles issues de graines (Domergue *et al.*, 2008). Les plantes provenant des graines présentent cinq (5) racines séminales dont quatre (4) latérales et une (1) axiale, tandis que celles provenant des boutures ne présentent pas de racines axiales (Ouédraogo, 2000).

Les plants issus des graines ou des boutures débutent leur première ramification au maximum à 1 m du sol et le nombre de rameaux varie entre cinq (5) et vingt (20) (Ouédraogo, 2000).

La plante est hermaphrodite (Endelevu Energy, 2009; Domergue *et al.*, 2008); sa floraison est fonction des conditions climatiques [quatre (4) à cinq (5) ans dans des conditions arides et un an dans les zones humides] et présente son optimum au cours de la seconde et troisième année. La plante peut également fleurir à l'occasion de précipitations qui tombent en dehors de la saison des pluies habituelles (Domergue *et al.*, 2008).

Selon Münch *et al.* (1986), la maturité du fruit est atteinte trois (3) à quatre (4) mois après la fécondation. Les rendements étant dépendant des conditions pédoclimatiques du milieu, lors de la conférence de Wageningen en mars 2007, les chercheurs travaillant sur la culture du *Jatropha* ont fixé son rendement à $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ (Domergue *et al.*, 2008).

Les graines contiennent 30 à 35 % d'huile (Henning *et al.*, 2005). Aussi, contiennent-elles des produits toxiques dont les principaux sont la curcine (voisine de la ricine), poison violent quand il est administré à de faibles quantités, et des esters de phorbol (Münch *et al.*, 1986).

C'est d'ailleurs cette toxicité de ses parties aériennes qui le protège des dégâts d'animaux (Domergue *et al.*, 2008).

1.1.2. Ecologie

L'aire de distribution naturelle du *Jatropha Curcas* se situe principalement dans les zones arides et semi-arides (Jones et Miller, 1992 ; Makkar *et al.*, 1997) mais il est également rencontré dans les régions tropicales humides. L'arbre tolère une température moyenne annuelle de 11 à 28 °C, mais sa température optimale se situe entre 20 et 28 °C. La résistance à un gel léger est probablement un facteur variétal et les différents écotypes ne présentent pas la même sensibilité (Domergue *et al.*, 2008).

La pluviométrie est un important facteur du rendement pour le *Jatropha*. Les besoins minimums pour sa survie sont de 300 mm an⁻¹ mais le *Jatropha* donne une production faible avec un régime pluviométrique minimal de 500 à 600 mm an⁻¹, et elle devient optimale avec un niveau de précipitations de 1200 à 1500 mm an⁻¹ (Euler et Gorriz, 2004).

En ce qui concerne les sols, le *Jatropha* s'accommode bien à la plupart des conditions édaphiques. La plante préfère les sols profonds, de texture sableuse, à structure grumeleuse, où son système racinaire peut se développer de manière optimale (Domergue *et al.*, 2008). Gour *et al.* (2006) proposent d'utiliser le bouturage dans les sols peu profonds; les graines produisent des racines pivotantes. La plante est également capable de croître entre les rochers sous lesquels il y a un peu de terre ; sa culture sur des sols secs et caillouteux est aussi possible (Godin *et al.*, 1971). Les sols argileux conviennent mal au *Jatropha*. Sa croissance racinaire est en effet réduite dans les sols lourds, compacts et mal drainés (Vidal, 1962 ; Daey *et al.*, 2007).

Le pH du sol ne doit pas être supérieur à 9 (Tiwari *et al.*, 2007). Il en est de même pour les sols très acides où le développement de la plante nécessite un apport de calcium et/ou de magnésium (Biswas, 2006).

1.1.3. Importance

Le *Jatropha*, comme le souligne Blind *et al.* (2008), fournit divers produits et avantages qui couvrent plusieurs aspects clés du développement rural. Son importance du point de vue utilisation sur le plan agroenvironnemental, économique et social peut être perçue comme suit :

1.1.3.1. Domaine agricole et environnemental

Le *Jatropha* développe une odeur qui persiste en fonction de son âge (Henning *et al.*, 2005). Cette odeur repousse les animaux en divagation, ce qui justifie son utilisation en haies vives.

La lutte contre l'érosion par l'action mécanique des haies contre le vent (effet de brise-vent) et la fixation du sol grâce à son système racinaire ont été évoquées par plusieurs auteurs (Henning, 2002; Pellet *et al.*, 2007; Blind *et al.*, 2008; Domergue *et al.*, 2008). De même, l'une des forces qui justifie la résistance à la sécheresse du *Jatropha* est son système racinaire mixte ; sa protection cuticulaire, et la perte de son feuillage en saison sèche, qui limite au maximum les pertes par transpiration (Ouédraogo, 2000). Ce comportement a pour conséquence une amélioration de la rétention de l'eau du sol. Sa culture sous une pluviométrie de 200-800 mm.an⁻¹ au Sénégal a entraîné une augmentation des teneurs des sols en P et N minéral (<http://ripiecsa.sciencesconf.org/1582> le 07-04-2013-15 h). Ces mêmes résultats ont été obtenus au Burkina Faso sous une pluviométrie de 700-1200 mm an⁻¹ (Bazongo, 2011). C'est pourquoi Münch *et al.* (1986) soulignent que la plante n'a jamais présenté de symptômes de manque d'éléments nutritifs et en déduisent qu'elle possède un système d'absorption particulièrement performant, compte tenu de la pauvreté des sols, notamment en phosphore. Les mêmes auteurs évoquent une possibilité de mycorhization de type vésiculaire et arbusculaire du *Jatropha* comme c'est le cas pour du manioc. L'augmentation de la stabilité des agrégats de 6 à 30 % et la diminution de la densité apparente de 20 % notées par Domergue *et al.* (2008) complètent l'importance de la culture du *Jatropha*.

Ces dernières informations pourraient susciter un intérêt agronomique, car la pauvreté des sols et la nécessité de récupérer les sols dégradés constituent les enjeux majeurs de nos pays.

En outre, les tourteaux obtenus après extraction de l'huile par pressage à froid sont de très bons fertilisants. Henning *et al.* (2005) établissent une analogie entre les tourteaux et les fientes de volaille et donne une teneur minérale de 200 kg par tonne de tourteau. Latalpie (2007) soutient l'hypothèse d'engrais organique en précisant sa composition minérale en phosphore (2,1%) et en potassium (1,7%). Henning *et al.* (2005) expliquent la richesse des tourteaux par les rendements des cultures. Traoré *et al.* (2012) évaluent les teneurs des tourteaux en N, P et K respectivement à 2,82, 0,77 et à 1,82 g.kg⁻¹. Ces auteurs précisent qu'une substitution de 6 g de NPK (15-15-15) à 100 g de tourteaux était économique en application localisée dans une production du mil en zone sahélienne.

Enfin, l'autre avantage purement environnemental est sans doute la séquestration du carbone par le *Jatropha*. Spiegel-Online (2008), Neff *et al.* (2008) et Endelevu Energy (2009) trouvent que la plante est une solution idoine pour freiner l'émission des gaz à effet de serre. C'est d'ailleurs cette dernière propriété qui a amené beaucoup de pays en développement à s'engager dans la promotion des biocarburants en choisissant *Jatropha curcas* L.

1.1.3.2. Domaine économique et social

Le système *Jatropha* obéit à une approche de développement rural intégré (Henning *et al.*, 2005). Les activités de production (production de plants, plantation, entretien et récolte etc.) et la vente des productions génèrent un revenu substantiel aux populations (Latalpie , 2007 ; Blind *et al.*, 2008). Biocarburant de première génération (Pellet *et al.*, 2007 ; Neff *et al.*, 2008), l'huile de *Jatropha* est une solution à la flambée des prix des hydrocarbures. Domergue *et al.* (2008) indiquent que les caractéristiques physiques de l'huile permettent d'envisager son utilisation comme huile carburant en climat chaud. Ainsi, elle sert de lubrifiant et de carburant pour alimenter les pompes d'irrigation, les groupes électrogènes et les lampes tempêtes et même faire la cuisson (Henning *et al.*, 2005 ; Aun, 2008). Cette possibilité permet le développement d'un tissu économique, la création de filières de production locale et d'activités rurales rémunératrices.

De même, utilisé pour le transport et l'électrification, ce biocarburant est une source économique locale renouvelable (Henning *et al.*, 2005). D'autres sous-produits comme le savon, les lotions de la peau et des pommades pour les cheveux sont aussi des sources de revenus pour les populations rurales (Traoré, 1995 ; Sene, 2009). Les tourteaux sont des engrais organiques (Münch *et al.*, 1986 ; Traoré *et al.*, 2012) et la valeur en matières fertilisantes est également très importante, ce qui constitue une économie d'argent pour les producteurs.

Enfin, traditionnellement, le *Jatropha* est utilisé en pharmacopée pour soigner de nombreuses affections. L'huile, les feuilles et l'écorce sont utilisées comme purgatif et permettent de traiter les rhumatismes et toutes sortes d'infections dermatologiques malgré les irritations qu'elle peut provoquer sur la peau (Domergue *et al.*, 2008). La « Binga lampe » pour l'huile de *Jatropha* développée par AFRICARE à Lusaka (Zambie), en plus de la lumière, l'odeur de la fumée de la lampe repousse les moustiques (Henning *et al.*, 2005), d'où une lutte contre le paludisme. Ces auteurs soutiennent une réduction des conflits par le fait que les haies du *Jatropha* protègent les champs des animaux errants. Certains auteurs notent des vertus des tourteaux en élevage mais à condition de les détoxifier (Aregheore *et al.*, 1998).

1.2. Biologie du sol

Les organismes vivants du sol sont des bactéries des champignons des algues les parties souterraines des plantes ainsi que des animaux très variés des protozoaires et mammifères qui participent d'une manière ou d'une autre à la formation et à l'évolution du sol en particulier sa fraction organique (Gobat *et al.*, 2010 ; Girard *et al.*, 2011).

En effet, parmi les actions qui concourent à la protection du sol, un grand nombre d'auteurs attribuent un rôle prépondérant à ces invertébrés du sol, qui sont des indicateurs très sensibles de la qualité des sols et de leur fertilité (Bachelier, 1978 ; Lavelle *et al.*, 2006 ; Rombké *et al.*, 2006 ; Zombré, 2006). Pour ces auteurs, la qualité biologique des sols fait référence à l'abondance, à la diversité et à l'activité des organismes vivants qui participent au fonctionnement du sol.

Girard *et al.* (2011) spécifient qu'une seule fraction de la biomasse du sol est active, et que des méthodes d'évaluation de l'activité globale ou spécifique de la biomasse existent et sont fondées sur la mesure des fonctions écologiques qui impliquent des populations microbiennes : mesure de la vitesse de minéralisation du carbone organique par respirométrie et mesure de l'activité enzymatique. C'est pourquoi dans cette présente synthèse, nous mettons l'accent sur les microorganismes minéralisateurs du carbone et de l'azote et aussi sur ceux responsables de la symbiose racinaire, notamment les mycorhizes qui assurent la nutrition hydrominérale et la protection sanitaire de leurs hôtes.

1.2.1. Microorganismes minéralisateurs du carbone et de l'azote

1.2.1.1. Minéralisation de l'azote

La minéralisation de l'azote traduit son passage de l'état organique à l'état minéral. Les microorganismes qui interviennent dans ce processus sont très nombreux et permettent de juguler les gains et les pertes en différents éléments et le maintien de l'équilibre écologique (Dommergues et Mangenot, 1970 ; Phillips *et al.*, 2000).

Les plantes tirent presque l'essentiel de leur nutrition de l'activité minéralisatrice des microorganismes du sol (Gobat *et al.*, 2010). La minéralisation de l'azote comporte deux grandes étapes à savoir l'ammonification et la nitrification avec des microorganismes spécifiques. Les genres de bactéries impliqués dans l'ammonification sont *Achromobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas* et *Clostridium*. Ces bactéries ammonifiantes sont très abondantes dans les sols et l'ammonification apparaît dans tous les sols où il existe des êtres vivants (Dommergues et Mangenot, 1970). Les microorganismes impliqués dans la nitrification sont les *Nitrobacter*, *Nitrosomonas*, *Pseudomonas*, *Bacillus* et des champignons comme *Aspergillus* et *Penicillium* (Poth, 1986 ; Muller *et al.*, 1995).

1.2.1.2. Minéralisation du carbone

La principale source de carbone du sol se trouve dans les débris des végétaux qui lui sont apportés et qui y subissent des transformations progressives. Les organismes responsables de

la dégradation de la matière organique sont très divers : ce sont des bactéries, des actinomycètes, des champignons filamenteux, des myxomycètes et des protozoaires (Asimi, 2009). Ces microorganismes秘ètent des enzymes capables de dégrader les longues chaînes carbonées en molécules simples (Sharp et MacFarlane, 2000).

Cependant, certains facteurs environnementaux ont des effets sur l'activité, la densité et la nature de la microflore tellurique. La température, le pH et la teneur en matière organique favorables stimulent les microorganismes tandis que les fortes doses de pesticides ou de fertilisants minéraux et une forte acidité ralentissent le processus de dégradation des substrats carbonés (Peacock, 2000).

1.2.2. Mycorhizes

1.2.2.1. Définition et concepts

Le terme Mycorhize provient du grec "Mykes" et "Rhiza", ce qui signifie littéralement "champignon-racine" (Pousset, 2005 ; Asimi, 2009). C'est une association de type symbiotique à caractère mutualiste (Cayrol *et al.*, 1992 ; Asimi, 2009). Plus de 90% des plantes assurent leur nutrition grâce à cette structure mixte champignons-racine appelée la mycorhize (Brundrett, 2004 ; Girard *et al.*, 2011). Les champignons impliqués appartiennent aux Basidiomycètes, aux Ascomycètes et aux Glomeromycètes (Girard *et al.*, 2011). Cette symbiose exerce des fonctions écologiques essentielles pour le fonctionnement des écosystèmes terrestres (Cayrol., 1992; MARA, 1995 ; Gobat *et al.*, 2010). L'établissement de la symbiose mycorhizienne induit des modifications physiologiques et/ou morphologiques de la racine, générant des structures plus ou moins complexes selon le type de champignon impliqué (Cayrol *et al.*, 1992). Ces structures peuvent être classées sur la base de critères écologiques, morphologiques et physiologiques (Brundrett, 2004). C'est ainsi que Smith et Read (1997) distinguent sept (7) types (les ectomycorhizes, les endomycorhizes, les ectendomycorhizes, les mycorhizes arbutoïdes, monotropoïdes, éricoïdes et orchidoïdes) qui se regroupent généralement en trois (3) groupes principaux : les ectomycorhizes, les endomycorhizes et les ectendomycorhizes.

✓ Les ectomycorhizes

Les ectomycorhizes sont associées à de nombreuses espèces ligneuses forestières. Les arbres qui forment cette association représentent 3 à 5 % des végétaux (Strullu, 1991) et font intervenir environ 6000 espèces de champignons supérieurs (Paul et Clark, 1996). Les ectomycorhizes sont aisément détectables à l'œil nu (Girard *et al.*, 2011). Les hyphes du

champignon entourent les racines de l'hôte et forment le manteau d'où partent d'autres hyphes qui s'intercalent entre les cellules corticales pour former le réseau de Hartig. En fonction de l'espèce mycorhizée et du type du champignon mycorhizien, la densité des hyphes peut différer (Boullard, 1968). L'épaisseur des hyphes peut atteindre 40 µm selon l'espèce fongique.

✓ Les endomycorhizes

Les endomycorhizes à arbuscules et vésicules (*vesicular-arbuscular mycorrhizae*) forment une association symbiotique avec les racines d'une gamme large de plantes sauvages et cultivées (Cayrol *et al.*, 1992 ; Girard *et al.*, 2011). Les champignons impliqués dans cette association symbiotique sont des Glomeromycètes à l'exception des Orchidées et des Ericacées pour lesquelles les champignons mycorhiziens sont des Basidiomycètes et des Ascomycètes (Girard *et al.*, 2011). Les Glomeromycètes sont de la famille des *Endogonaceae*, possédant un double réseau mycélien : un réseau externe dans le sol et un réseau interne dans les tissus de la racine-hôte (Figure 1). Le réseau mycélien interne se développe dans le cortex des racines où il forme des arbuscules et des vésicules. Les arbuscules sont des structures d'échange entre la plante et le champignon tandis que les vésicules sont plutôt considérées comme des organes de réserve (Smith et Read, 1997).

Pour expliquer la résistance du *Jatropha*, Münch *et al.* (1986) ont souligné une possibilité de mycorhization de type vésiculaire et arbusculaire comme c'est le cas pour l'alimentation du Manioc. C'est pourquoi nous avons focalisé nos recherches sur ces types de symbiose.



Figure 1: Endomycorhize dans les cellules de l'hôte végétal (Brundrett *et al.*, 1984)

✓ Les ectendomycorhizes

Ce sont des formes d'associations intermédiaires qui proviennent d'une combinaison des caractères propres aux ectomycorhizes et aux endomycorhizes (Girard *et al.*, 2011).

Morphologiquement, il y a coexistence d'un manteau fongique avec des hyphes qui pénètrent dans les cellules racinaires. Les mycorhizes arbutoïdes et monotropoïdes sont souvent classées dans ce type (Massicotte *et al.*, 1993).

1.2.2.2. Bénéfices de la symbiose mycorhizienne

La symbiose mycorhizienne est intimement régie par des échanges réciproques entre partenaires (Girard *et al.*, 2011). Les avantages sont perçus tant au niveau de la plante hôte que du champignon et aussi pour l'environnement agro-écologique du système.

✓ Pour la plante hôte

Selon Klingeman *et al.* (2002), l'impact des mycorhizes est significatif dans les sols pauvres en éléments nutritifs. Assez de littératures témoignent l'amélioration de la nutrition minérale des plantes mycorhizées (Gianinazzi *et al.*, 2002 ; Girard *et al.*, 2011). Un complément nutritionnel en phosphore, en azote et en potassium a été souligné par Jackson *et al.* (2001) et Mohammad *et al.* (2004). Asimi (2009) avant d'observer que les taux de mycorhization sont inversement proportionnels aux teneurs en N, P et C, précise que la fixation d'azote des plantes mycorhizées de soja est 2,4 à 2,8 fois plus élevée que celle des témoins non mycorhizées. Koide (1991) et Thompson (1994) étendent cette couverture minérale au cuivre et au zinc. Le fer, le calcium, le manganèse et le magnésium sont également mentionnés à l'actif des mycorhizes en termes d'amélioration pour la plante (Liu *et al.*, 2002 ; Tu *et al.*, 2005 ; Gosling *et al.*, 2006). Certains auteurs donnent des précisions sur le rôle des mycorhizes sur les formes des éléments. C'est ainsi que Feng *et al.* (2003), après avoir observé une activité enzymatique au niveau des hyphes extra-radicaux (phosphatases acides) concluent que ces champignons sont susceptibles de jouer un rôle dans la mobilisation des formes peu solubles de P.

En matière de gestion de l'eau, les plantes mycorhizées soumises à des périodes de sécheresse se développent mieux que celles non mycorhizées (Ruiz-Lozano *et al.*, 1995). Cette régulation de l'alimentation en eau serait d'une part due à une modification hormonale (Asimi, 1979; Ruiz-Lozano, 2003) et d'autre part, à l'augmentation du volume de sol exploré par le système racinaire de la plante (Hardie, 1985). En effet, les champignons sont des colonisateurs à grand rayon d'action. Dans 1 m² de sol fertile, le réseau formé par les filaments mycéliens peut atteindre 10.000 km de longueur totale (Gobat *et al.*, 2010). D'autres auteurs citent une amélioration de la conductivité des racines (Koides, 1985), source d'une bonne alimentation hydrique.

En termes de protection de la plante contre les bioagresseurs, le manteau d'hyphes des ectomycorhizes constitue une barrière mécanique efficace contre les pathogènes (Brundrett,

1991). Ainsi, l'infection mycorhizienne réduit souvent la susceptibilité des plantes aux attaques des agents pathogènes comme *Fusarium*, *Phytophtora* (Pozo *et al.*, 2007). Il existe également de nombreuses indications sur l'impact des champignons mycorhiziens dans la réduction ou la minimisation des dégâts causés sur les racines des plantes par des nématodes (Duponnois et Cadet, 1994 ; Fortin *et al.*, 2002). Un des exemples palpables est l'expérimentation classique effectuée aux Etats-Unis sur le Tabac. Les résultats ont montré que le nombre de femelles de *Heterodera solanacearum* est réduit de 35% sur les plants mycorhizés par *Endogona gigantea* (Cayrol *et al.*, 1992).

✓ Pour le champignon

Comme indiqué plus haut, la symbiose fonctionne grâce aux échanges entre les partenaires. Ainsi, en contrepartie des nutriments reçus, la plante hôte permet le développement du champignon sur ses racines en lui fournissant la matière carbonée (Girard *et al.*, 2011 ; Selosse *et al.*, 2012). Gavito et Olsson (2003) estiment le produit carboné fourni par la plante entre 4 à 20%. Un volume important de rizodépots estimé à près de 80% est aussi libéré progressivement dans la rhizosphère par les plantes (Girard *et al.*, 2011). Ces composés étant essentiellement constitués d'exsudats (Bertin *et al.*, 2003) agissent favorablement sur la germination des spores des champignons (Gianinazzi-Pearson *et al.*, 1989).

✓ Retombées agro-écologiques

Un des facteurs importants de la symbiose mycorhizienne est la réduction de l'utilisation des engrains chimiques notamment le phosphore (Gianinazzi-Pearson, 1976). Une réduction des apports de près de 25% a été citée par Janssen (2006). Ce résultat pourrait ouvrir une perspective de solutionnement des problèmes de pollutions causées par l'utilisation des engrains chimiques.

En favorisant les échanges de nutriments avec les plantes situées au voisinage de l'hôte, les champignons mycorhiziens favorisent l'expansion des espèces végétales sous leur influence (Girard *et al.*, 2011).

La réduction de l'infestation des végétaux a été citée par des auteurs (Brundrett, 1991 ; Pozo *et al.*, 2007 ; Asimi, 2009). C'est cette raison qui a amené Bally *et al.* (1999) à demander d'éviter de modifier les équilibres microbiens au profit de la santé et de la croissance des plantes. Ils complètent qu'il serait même bénéfique d'introduire des souches sélectionnées (inoculation microbienne) pour défavoriser la population des agents altérogènes.

Aussi est-il nécessaire de souligner l'aspect bio-remède des sols pollués par ces organismes. Rajapaska *et al.* (2004) ont trouvé une tolérance des plantes mycorhizées aux

métaux lourds. Ils trouvent par contre une forte rétention de ces éléments dans les tissus du champignon. Le manchon d'hyphe concentre donc les polluants (Joner et Leyval, 2003) ; et ce comportement des champignons symbiotiques pourrait présenter un intérêt écologique.

De même, avec une longueur totale voisine de 10000 km dans les sols fertiles (Gobat *et al.*, 2010), le réseau mycélien augmente la cohésion des particules du sol par sa structure ramifiée (Selosse *et al.*, 1999) d'où une résistance accrue des sols colonisés à l'érosion. Les mycorhizes produisent aussi de la glomaline qui est une substance à pouvoir agrégatif assez bien connu (Driver *et al.*, 2005). L'amélioration de la stabilité structurale est un facteur très important pour la conservation de la biodiversité fonctionnelle dans les agrosystèmes.

1.3. Effet de la plante sur les propriétés du sol

1.3.1. Propriétés physiques

L'échange d'énergie entre la plante et son milieu transforme fondamentalement le sol (Girard *et al.*, 2011). La texture du sol se trouve améliorée grâce à l'effet de l'arbre (Bonkoungou *et al.*, 1993 ; Duchaufour, 1997). Cette amélioration pourrait s'expliquer par son rôle d'obstacle mécanique (brise-vent) aux particules fines entraînées par les vents. Les racines par leurs effets mécaniques fixent également le sol (Henning, 2002 ; Pellet *et al.*, 2007) ; ce qui permet de maintenir les particules du sol contre l'effet érosive des pluies et du vent. Certaines zones de la racine notamment la coiffe, sécrètent des mucilages qui sont responsables de l'agrégation du sol (Gobat *et al.*, 2010). L'augmentation de la stabilité des agrégats de 6 à 30 % et la diminution de la densité apparente de 20 % a été notée par Domergues *et al.* (2008) sous une culture du *Jatropha*.

Ensuite, la structure spatiale de la végétation conditionne la distribution de la matière organique dans l'espace (Nacro, 1997). Somé *et al.* (2007) confirment cet état sur les sols rizosphériques qu'ils trouvaient plus riches en matière organique que les échantillons prélevés hors rhizosphères. Cette matière organique active la vie du sol et contribue fortement à ses propriétés physiques.

De même, la température est un facteur important dans la formation et l'évolution du sol (Duchaufour, 1997; Girard *et al.*, 2011). Une régulation de la température du sol et la transmission de la lumière solaire sont bien connus des effets de l'arbre (ICRAF, 1995).

Belsky *et al.* (1989) ont même trouvé une réduction des températures de 5 à 9°C sous le houppier en comparaison avec celle enregistrée hors houppier. Ceci confirme le rôle capital de l'arbre sur les propriétés physiques du sol, notamment la capacité de rétention en eau du sol. Aussi, est-il important de souligner la porosité engendrée par les traces des racines qui constituent une source d'aération et des voies d'infiltration des eaux de pluie. Une

amélioration de la recharge des nappes phréatiques peut être notée à ce niveau en plus du remaniement du sol exercé par les racines profitables aux organismes aérobies du sol (Traoré *et al.*, 2011).

1.3.2. Propriétés chimiques

Les arbres contribuent à l'addition au sol d'éléments nutritifs à travers la biomasse foliaire (Balaisubramanian *et al.*, 1983). Ces auteurs précisent que les apports vont de 26 à 119 kg par ha et par an pour l'azote et de 1 à 3 Kg par ha pour le phosphore en fonction des arbustes. Bado (2002) utilise la valeur de remplacement en fertilisation azotée (VRFA) pour soutenir l'effet des légumineuses et la fixation symbiotique. Il précise qu'un précédent niébé équivaut à une application de 25 kg par hectare d'azote lorsque le sorgho est cultivé sans aucun apport minéral.

Young (1989) en confirmant le maintien de la fertilité du sol par le biais de la fixation d'azote, ajoute l'addition de la matière organique et le pompage accru de nutriments dans les horizons profonds. 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 ont été cités par Buldgen *et al.* (1997). Nacro (1997) observe d'abord une décroissance de la quantité d'azote minérale totale accumulée avec la profondeur en forêt, avant d'émettre l'hypothèse de plante (*Hyparrhenia diplandra*) inhibitrice de la nitrification dans la zone.

D'autre part, les plantes sont responsables de la dissolution de près de 30% du calcaire constitutif du sol (Jaillard, 1984). Young (1989) confirme cet état par ses travaux. Il trouve que le niveau de toutes les propriétés du sol de surface a baissé dans les parcelles témoins à l'exception du calcium après quatre ans de culture sans fumure ni incorporation d'émondés. Certains exsudats diminuent la toxicité aluminique du sol en le chélatant (Delhaize *et al.*, 2007). Ce qui amène parfois le pH de la rizosphère à varier de 1 à 2 unités par rapport au sol environnant (Girard *et al.*, 2011).

Enfin, en termes de contribution aux rendements des cultures, Young (1989) compare la contribution d'un système agroforestier à un apport de 10 tonnes de fumier par ha et par an. Le site <http://jardinons.wordpress.com/2012/12/18/lagroforesterie-est-productive-et-resiliente/>, consulté le 12/05/2013 à 20 h 02 mn, parle d'une Surface Economique Equivalente de l'Agroforesterie (SEEA) variant entre 1,7 et 2,5 en fonction des systèmes étudiés. Cela veut dire qu'un agriculteur gagne sur un hectare avec l'agroforesterie ce qu'il aurait gagné avec 1,7 à 2,5 hectares dans le cas où arbre et culture sont séparés. Les végétaux supérieurs

ont donc une position centrale dans les cycles biogéochimiques, et il est nécessaire de les prendre en compte dans l'étude des propriétés physico-chimiques du sol.

1.3.3. Propriétés biologiques

La contribution au sol en biomasse aérienne et racinaire a été appréciée par de nombreux auteurs. En effet, une plante transforme plus de 5 fois sa biomasse durant une période chaude d'une journée, et près de 500 fois sa biomasse finale au cours de son cycle végétatif (Girard *et al.*, 2011). Balaisubramanian (1983), Young (1989), et Gobat *et al.* (2010) trouvent que la part de la biomasse aérienne des arbres qui retourne au sol est très importante. Selosse (2012) estime la partie non émergée ou racine au tiers de la biomasse totale de la plante. Finck (1976) mesure 10 à 50 km de poils absorbants qui se renouvelle à chaque 2 à 3 jours dans le sol. Goba *et al.* (2010) trouvent des lambeaux de 400 à 600 cellules par apex et par jour pour la Fèvre et 2100 pour le Maïs.

Le carbone est la source énergétique principale des microorganismes du sol (Bacyé, 1993 ; Nacro, 1997 ; Thiombiano *et al.*, 1999 ; Sawamoto *et al.*, 2000 ; Gobat *et al.*, 2010). Les micro-organismes du sol constituent eux-mêmes un "pool" labile de la matière organique totale du sol (Jenkinson et Ladd, 1981). La part de la biomasse microbienne dans la matière organique est diversement appréciée par des auteurs. Elle représente en moyenne 2 à 4% du carbone organique et 4 à 8% de l'azote total du sol (Girard *et al.*, 2011). Duchaufour (1991) l'avait mesuré entre 2 et 5% du carbone organique, et 2 à 10 % de l'azote total. La corrélation positive entre l'activité microbienne du sol et sa teneur en matière organique dans les états de surfaces (Bacyé, 1993 ; Thiombiano *et al.*, 1999) trouve son explication à ce niveau.

Les végétaux n'ayant pas la même composition chimique, leurs réponses à la dégradation microbienne seront aussi fonction de leur type de substrat (Azmal *et al.*, 1997). En exemple, l'intensité respiratoire des sols avec des résidus d'azolla (*Azolla pinnata*) et de sesbania (*Sesbania rostrata*) est plus importante que celle des sols avec des résidus de paille de riz (*Oryzea sativa*) (Azmal *et al.*, 1997). La proportion d'hexose ou sucre facilement minéralisable est importante dans les deux premières espèces que dans les résidus de paille de riz riche en lignine. L'apport de substrat riche en carbone est une cause d'immobilisation des minéraux et même de réduction de l'activité biologique du sol. L'ajout d'un substrat riche en azote permet une activité microbienne avec une libération d'azote (Gobat *et al.*, 2010).

De même, la distribution de la matière organique et par conséquent les paramètres biologiques sont liés aux caractéristiques de surface (Thiombiano *et al.*, 1999). En effet, Nacro (1997) a constaté que le passage d'un faciès de forêt à un faciès de savane s'accompagne d'une

réduction de l'activité biologique du sol: les sols de forêt ont une teneur en matière organique plus élevée dans les horizons superficiels et une activité biologique de 27 à 73% plus forte. Somé *et al.* (2007) donnent plus d'indications sur les graminées. Ils trouvent que l'activité biologique et la biomasse microbienne sous touffe de *Andropogon gayanus* et de *Andropogon ascinodis* sont plus importantes que sous les traitements témoins mis en culture continue. Enfin, les arbres assurent le maintien de la vie du sol par la régulation des températures (Belsky *et al.*, 1989; ICRAF, 1994), le pH (Girard *et al.*, 2011) et par le maintien de la symbiose. La rhizosphère est un lieu idéal d'énormes échanges dans le sol (Cayrol *et al.*, 1992; Pozo *et al.*, 2007; Selosse, 2012). Les champignons mycorhiziens et les bactéries symbiotiques, leurs activités et le rôle écologique qu'ils jouent sont le fruit de l'effet des parties aériennes et souterraines de l'arbre. En contrepartie, les principales sources d'alimentation des plantes cultivées et forestières sont sous le contrôle des microorganismes. Un regard particulier doit être porté sur cette faune invisible. C'est pourquoi les espèces végétales qui produisent des substances toxiques de portée peu connue dans la vie du sol comme le *Jatropha* doivent être bien étudiées pour une préservation de la biodiversité terrestre.

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

2.1. Sites d'étude

2.1.1. Site de Tin

✓ Localisation

Tin est un village situé à 15 km de Orodara, chef lieu de la province du Kénédougou dans la région des Haut-Bassins. Les coordonnées GPS sont de 04° 97' Longitude Ouest et de 11° 08' Latitude Nord

✓ Climat et végétation

Le climat du site est du type sud soudanien avec une pluviométrie oscillant entre 900 et 1100 mm par an (Guinko, 1984). La saison des pluies dure six (6) mois environ et le mois d'Août est le plus arrosé. Les températures moyennes varient entre 24° et 30°C avec une amplitude thermique relativement faible de 5°C.

La savane arborée et la forêt claire sont les types de végétation rencontrés dans la zone (Guinko, 1984). Le site est également parsemé d'espèces de *Vittelaria paradoxa*. Ce caractère pourrait avoir un effet bénéfique en termes de restauration par l'effet de sa litière qui retourne au sol et est piégée par les gravillons ferrugineux.

✓ Sols

Cinq (5) types de sols sont rencontrés dans cette zone du point de vue texturale et de leurs aptitudes à la production agricole (BUNASOLS, 1989) :

- Les sols gravillonnaires peu profonds où la culture du *Jatropha* est réalisée ;
- Les sols argilo - sableux en surface et argileux en profondeur où sont pratiqués les cultures de rente telles que le sésame, le coton et l'arachide ;
- Les sols argilo - sableux à argileux en surface qui sont aussi dominés par les cultures d'arachides et de cotonniers ;
- Les sols limono-argileux à argilo - limoneux en surface et argileux en profondeur qui sont aptes à la culture du riz ;
- Les sols sableux en surface et argileux en profondeur et de fertilité variable qui sont aptes pour les tubercules et les céréales.

L'ouverture d'un profil pédologique sur le site et sa description a permis de faire une classification du sol étudié. Le site abrite un sol ferrallitique faiblement désaturé en (B), remanié (CPCS, 1967) ou un lixisol cutanique Hyper- ferrique, Squelettique, Rhodique (FAO, 1998).

2.1.2. Site de Torokoro

✓ Localisation

Torokoro est un village situé à 14 km de Mangodara, commune rurale située à 105 km de Banfora, chef lieu de la région des Cascades. Les coordonnées GPS sont de 4°20' longitude Ouest et de 9°59' latitude Nord.

✓ Climat et végétation

Le climat du site est du type sud soudanien avec des températures moyennes de 27-28 °C (Guinko, 1984). La zone connaît une pluviosité annuelle allant de 900 à 1200 mm, avec une saison pluvieuse qui dure de 5 à 6 mois.

Le couvert végétal est une formation mixte ligneuse et herbeuse comprenant des savanes et des forêts claires (Botoni, 2003).

✓ Sols

La zone est couverte par cinq (5) unités géomorphologiques : (1) les buttes cuirassées, (2) les glacis de raccordement, (3) les ensembles fluviaux alluviaux, (4) les Bas-fonds, vallons et levées alluviales (BUNASOLS, 1999).

Les sols y sont surtout de type ferrugineux tropical lessivé sur les versants ; quelques sols hydromorphes à pseudogley d'ensemble sont observés dans les interfluves tandis que les hauts de pente de glacis sont occupés par des lithosols (Youl, 2009). Le site d'étude abrite un sol ferrugineux tropical lessivé à concrétions (BUNASOLS, 1999).

2.2. Choix des sites et des producteurs

Les deux sites d'étude sont des sites choisis par l'INERA pour mener des travaux dans le cadre du projet RIPIECSA-*Jatropha* sous financement du Ministère Français des Affaires Etrangères depuis 2008 (Traoré, 2009).

Le choix des producteurs était d'une part basé sur leurs engagements pour la culture du *Jatropha*, et d'autre part sur leurs aptitudes aux respects de l'itinéraire technique tel que demandé par les promoteurs de la culture.

La principale caractéristique des deux sites est que les producteurs ont une tradition d'agro-foresterie qui consiste en l'intégration des arbres fruitiers aux plantes saisonnières (Youl, 2009). Le *Jatropha* est plus cultivé en association dans la zone et se présente comme une source de diversification des produits de l'arboriculture pour ces producteurs.

2.3. Parcelles étudiées

2.3.1. Choix des parcelles

Les travaux ont été conduits dans des parcelles de *Jatropha curcas* L. introduit par le projet APROJER. Les parcelles sont exploitées sans apports de fumure mais avec des entretiens. Les activités ont porté sur des parcelles de cinq (5) ans. Les plants de cet âge ont été choisis car en deçà de cette catégorie, les effets recherchés sont difficilement perceptibles à cause de la faible production en biomasses et en toxines du *Jatropha* (Henning *et al.*, 2005 ; Domergue *et al.*, 2008).

2.3.2. Dispositif de collecte des données

Sur chaque site, il a été retenu trois (3) producteurs pour conduire les travaux. Dans la parcelle de chaque producteur, une placette de 400 m^2 ($20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$) comportant 5 haies de plantation a été délimitée pour la collecte des données. La densité de plantation est de 2 m entre deux plants consécutifs, et de 5 m entre deux haies consécutives. Les dimensions moyennes des plants étaient de 1,50 à 2 m pour les hauteurs, 1,50 à 2 m de diamètre pour les houppiers et de 0,10 à 0,15 m de diamètre pour les troncs. Les trois haies du milieu ont été considérées. Le facteur étudié est la distance de prélèvement (Figure 2).

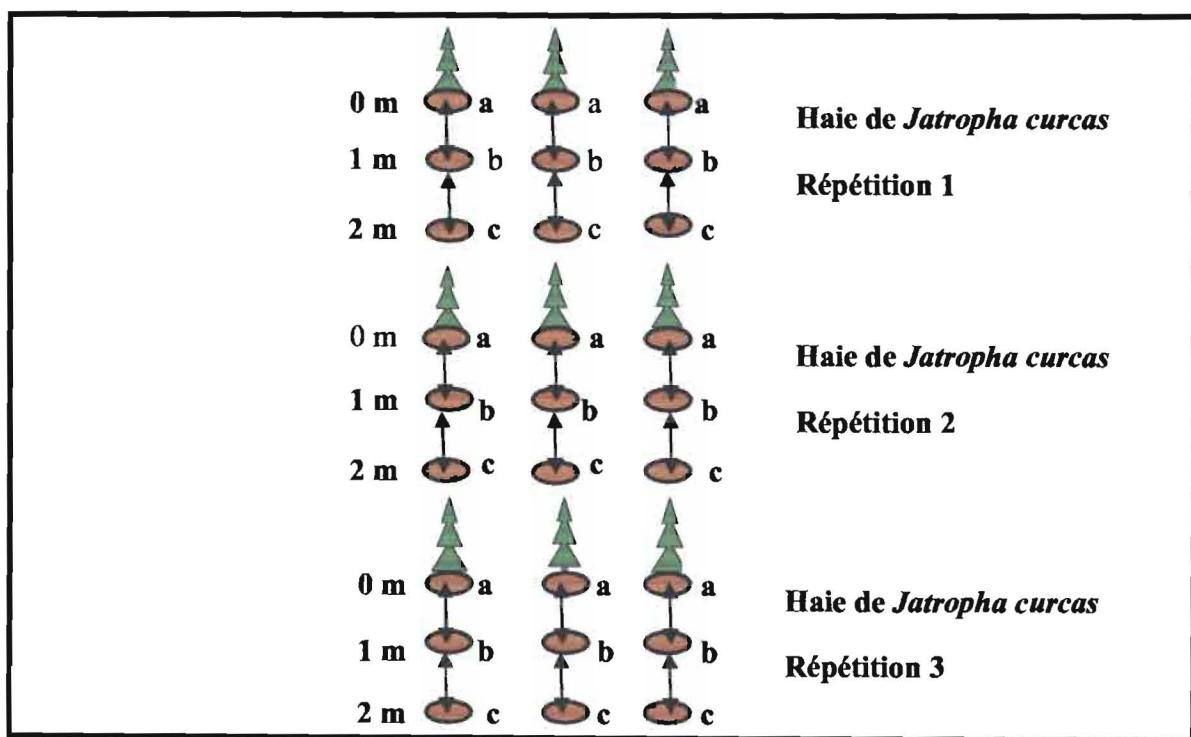


Figure 2: Placette délimitée chez chaque producteur

Légende : a, b et c = points de prélèvement respectivement sous le houppier, à 1 m et à 2 m.

2.4. Collecte des échantillons de sol

Les échantillons de sol ont été prélevés au niveau des points **a**, **b** et **c**, positionnés perpendiculairement à la ligne de la haie (Figure 2). Tous les prélèvements ont été réalisés avec une tarière de 7 mm de diamètre sur l'horizon 0-20 cm en ces points sur les deux sites respectivement les 11 et 13 juillet 2013. L'essentiel de la biomasse aérienne et de l'activité biologique des sols sont concentrés à cette profondeur selon Girard *et al.* (2011). Un échantillon composite a été constitué par distance à la haie. A cet effet, 3 échantillons composites par répétition, soit 9 échantillons par producteur ont été constitués. Etant donné que chaque site comptait 3 producteurs, le nombre d'échantillons par site s'élevait à 27, soit au total 54 échantillons pour l'ensemble de l'étude. Les échantillons collectés ont été ensuite séchés à l'air libre, broyés et tamisés à 2 mm pour des analyses au laboratoire.

2.5. Paramètres analysés

Les analyses ont porté sur les paramètres chimiques qui sont : pH_{eau} et pH_{KCl} , Carbone organique, Azote total et Phosphore assimilable. Quant aux paramètres biologiques, ils ont concerné l'activité microbienne, la biomasse microbienne et la biomasse des spores endomycorhiziennes du sol.

2.5.1. Paramètres chimiques

✓ pH_{eau} et pH_{KCl} .

Le pH eau a été mesuré à l'aide d'un pH mètre électronique sur une suspension de terre-eau distillée de rapport 1/2,5 (BUNASOLS, 1986). Pour ce faire, 20 g de sol ont été placés dans un bocal contenant 50 ml d'eau distillée. Le mélange a été ensuite agité pendant une (1) heure puis laissé au repos durant une (1) heure pour permettre une lecture au pH-mètre électronique. Pour passer à la détermination du pH_{KCl} , 3,7 g de KCl ont été ajoutés à la solution du pH_{eau} . Le mélange a été porté en agitation pendant 30 mn avant de passer à la lecture directe de l'acidité potentielle.

✓ Carbone total

La méthode Walkley et Black (1934) modifiée par Graham en 1948 a été utilisée pour la détermination du carbone organique. La réaction se déroule en milieu chaud (135°C) permettant ainsi une oxydation complète du carbone organique. Les ions Cr^{6+} du $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ de couleur rouge sont réduits en ions Cr^{3+} de couleur verte. L'intensité de la coloration verte est mesurée au spectrophotomètre à 650 mn. Cette méthode utilise du glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6\text{H}_2\text{O}$) comme standard.

La procédure a consisté à introduire 0,2 à 0,5 g de sol de 0,5 mm de diamètre de maille dans un erlenmeyer de 250 ml, puis à ajouter 2,5 ml de $K_2Cr_2O_7$ et ensuite 5 ml de H_2SO_4 concentré ($d = 1,84$) et homogénéiser prudemment. Les erlenmeyers ont été placés sur une plaque chauffante dont la température a été préalablement ajustée à 135°C ou mieux en bain marie ou dans une étuve et chauffer pendant 30 minutes. Le risque que le $K_2Cr_2O_7$ se décompose est minimisé quand la manipulation est faite dans un bain marie ou dans une étuve. Les erlenmeyers ont été ensuite récupérés et 25 ml d'eau distillée ont été ajoutés. Le mélange a été mis en refroidissement dans un bain marie jusqu'à la température ambiante et ensuite en décantation pendant 30 mn. Une partie du surnageant a été filtrée puis passée au spectrophotomètre à 650 mn. La matière organique du sol a été obtenue à partir du carbone organique en pourcentage selon l'équation: **MOS = % CO * 1,724.**

✓ **Azote total**

Il a été déterminé selon la méthode de Kjeldhal (Hillebrand *et al.*, 1953) consistant à minéraliser un (1) g de sol tamisé à 0,5 mm dans un mélange d'acide sulfurique, de sélénium et d'acide salicylique en le chauffant progressivement de 100 à 340°C jusqu'à minéralisation complète. Cette attaque a entraîné la transformation de l'azote en azote ammoniacal. Après distillation en présence de la soude 10 N, l'ammoniac a été recueilli dans une solution d'acide borique à 2% contenant un indicateur coloré composé de rouge de méthyle et de vert de bromocrésol puis dosé par de l'acide sulfurique N/50.

✓ **Phosphore assimilable**

Il a été dosé selon la méthode au fluorure et à l'acide dilué Bray 1 (Dickman et Bray, 1940). Le procédé d'extraction a consisté à utiliser une solution d'extraction contenant de l'acide chlorhydrique et du fluorure d'ammonium au rapport 1/7. Le procédé a consisté à introduire 2 g de sol tamisé à 2 mm et 14 ml de solution de 0,3M NH_4F et 0,025M HCl dans un flacon plastique de 25 ml. L'extrait d'échantillon de sol (2 ml) plus 8 ml de solution (acide molybdique + acide ascorbique) ont servi pour développer la couleur. La lecture des absorbances au spectrocolorimètre a été effectuée à 882 micromètres.

2.5.2. Paramètres biologiques

✓ **Activité biologique globale des sols**

L'activité biologique globale (C-CO₂ dégagé) des sols étudiés a été évaluée par la méthode du test respirométrique (Dommergues, 1960 ; Bachelier, 1973 ; Thiombiano et Dianou, 1999). Ce test a consisté à doser le gaz carbonique qui se dégage lors de la transformation de la

matière organique par les microorganismes. Les échantillons de sols ont été d'abord séchés à l'air libre et à l'ombre, puis tamisés à 2 mm. Par la suite, 100 g de sol humidifié au 2/3 de sa capacité de rétention maximale en eau ont été introduits dans un bocal en verre de 1 litre. Dans le bocal, un bécher contenant 20 ml de NaOH 0,1N pour piéger le CO₂ qui serait dégagé et un récipient d'eau pour maintenir l'humidité ambiante ont été placés. Le bocal hermétiquement fermé a été mis en incubation à la température de 30°C. Un témoin constitué uniquement d'un flacon contenant de la soude et d'un autre contenant de l'eau distillée a été placé dans les mêmes conditions pour tenir compte de la carbonisation initiale de la soude dans le bocal (Figures 3a et 3b).

Le CO₂ dégagé a été dosé journalièrement par colorimétrie pendant trois semaines, avec de l'acide chlorhydrique 0,1 N en présence de 4 gouttes de phénolphthaleine. Au moment du dosage, pour empêcher la fixation du CO₂ atmosphérique par la soude exposée dans le bécher, 4 ml de chlorure de baryum dihydraté (BaCl₂, 2H₂O) ont été ajoutés à la solution.

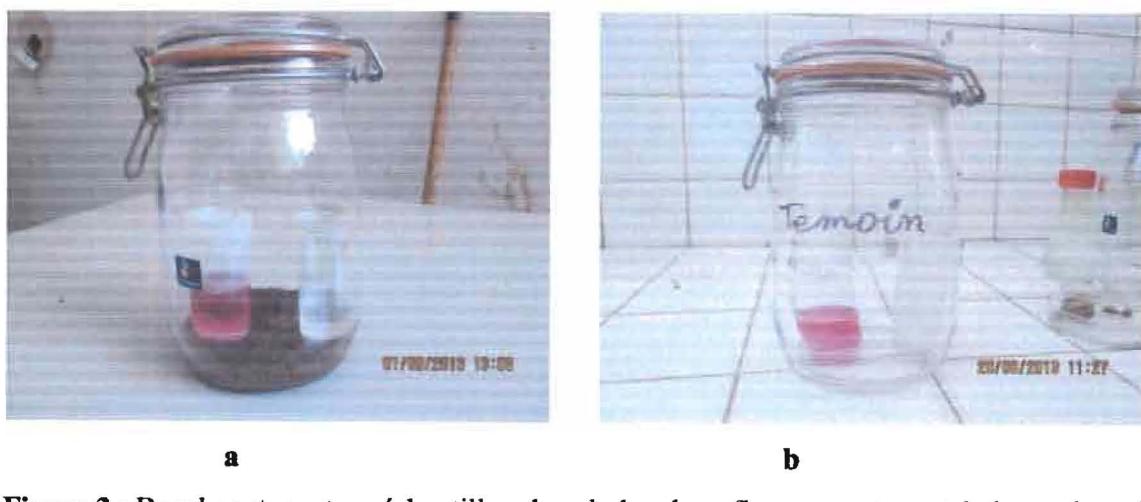


Figure 3 : Bocal contenant un échantillon de sol plus deux flacons contenant de la soude et de l'eau (a) et un bocal témoin contenant uniquement de l'eau et de la soude (b).

La quantité de C- CO₂ (en mg pour 100g de sol) dégagée est donnée par la formule suivante :

$$C\text{-CO}_2(\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}) = (V_{\text{blanc}} - V_{\text{échantillon}}) \cdot 2,2 \text{ ou}$$

V_{blanc} = volume de HCl utilisé pour les bocaux témoins ;

$V_{\text{échantillon}}$ = volume de HCl utilisé pour les bocaux contenant les échantillons de sol ;

2,2 = constante de vitesse de minéralisation.

✓ Biomasse microbienne

La technique de Fumigation-incubation (Wu *et al.*, 1990) a été utilisée pour la détermination de la biomasse microbienne. Ainsi, 100 g de sol tamisés à 2 mm de diamètre, préalablement séchés à l'air libre et à l'ombre, ont été humectés aux 2/3 de la capacité maximale de rétention

en eau pendant 24 heures en vue d'impulser l'activation de l'activité biologique. Ces sols ont ensuite été traités à la vapeur de chloroforme pour tuer les microorganismes qu'ils contiennent (Figure 4a). Les échantillons ont été incubés à l'étuve pendant 14 jours à 30 °C. Le gaz carbonique produit par les cadavres des microorganismes a été piégé à l'aide de la soude 0,1N (Figure 4b) et dosé par titration à l'acide chlorhydrique 0,1N. La biomasse microbienne a été estimée à l'aide de la formule utilisée par Chaussod *et al.* (1986).

BM (mg)= (F (0-7))-(F (7-14))/Kc où **F (0-7)** et **F (7-14)** représente respectivement la quantité de CO₂ dégagé au 7^{ème} jour et au 14^{ème} jour ;

BM= biomasse microbienne en mg pour 100g de sol ;

Kc=0,41 correspond au coefficient de proportionnalité représentant la fraction minéralisable ; en CO₂ du carbone de la biomasse.



Figure 4 : Echantillons de sol en fumigation dans un dessiccateur (a) et un bocal et son témoin près à être incubés (b).

✓ Pouvoir endomycorhizogène (PEM)

Ce paramètre désigne la richesse du sol en champignon endomycorhizien (ITAB, 2002), c'est-à-dire le nombre de propagules fongiques pour 100 g de sol. La méthode du tamisage humide développée par Gerdemann et Nicolson (1963) a été utilisée pour extraire les spores des champignons en vue d'apprécier l'effet de la plante de *Jatropha* sur la mycorhization du sol. Il s'agissait d'un dénombrement des spores présentes dans 100 g de chaque échantillon de sol. Le procédé est le suivant :

- **Extraction des spores par tamisage humide.**

Pour extraire les spores, quatre (4) tamis de mailles 50 µm, 100 µm, 150 µm, 250 µm disposées successivement de bas vers le haut (Figure 5a) ont été utilisés. Cent (100) g de sol

prélevés après un séchage à l'air libre et à l'ombre, puis tamisés à 2 mm ont été ensuite mis dans un bécher d'un litre. Un jet d'eau de robinet de 500 ml est envoyé dans le bécher et le mélange est vigoureusement agité. Le bécher est ensuite laissé au repos 10 minutes puis le surnageant est passé à travers la série de tamis. Cette opération est répétée jusqu'à ce que le sol soit bien rincé et l'eau du bécher limpide. Le mélange de spores et de résidus est ensuite recueilli dans des tubes de 100 ml avec de l'eau du robinet pour une séparation par centrifugation.



Figure 5 : Tamisage humide des échantillons de sol (a), récupération des échantillons après centrifugation (b)

- **Séparation des spores par centrifugation**

Quarante (40) ml d'une solution de saccharose à 60% introduits à l'aide d'une seringue au fond des tubes ont permis de séparer les spores des impuretés plus denses. L'ensemble des tubes est porté à centrifugation à 3000 tr.mn^{-1} pendant 10 mn pour suspendre les spores et les séparer des impuretés qui se déposent au fond des tubes (Figure 5b). Les spores contenues dans chaque échantillon se trouvent à l'interface eau/solution de saccharose. Le contenu des tubes est passé à travers les différentes mailles de tamis tout en évitant les impuretés du fond et du surnageant (Figure 6). Le mélange est aussitôt rincé à l'eau du robinet et récupéré dans des boîtes de Pétri pour le dénombrement.



Figure 6 : Rinçage des spores sur un tamis de 50 µm pour l'observation.

- **Observation et dénombrement des spores**

Le mélange de spores obtenues après extraction et séparation est conservé dans des boîtes de Pétri et placé sous une loupe binoculaire (OLYMPUS, MICROBIO) pour un comptage. Le dénombrement a été fait par maille (250 µm, 150 µm, 100 µm et 50 µm) avant de passer à la sommation des chiffres obtenus. Les spores de diamètres inférieur à 50 µm ne sont prises en compte dans la méthodologie. Les spores après comptage sont conservées au réfrigérateur dans une solution de NaCl à 0,9% pour une identification.

2.3.4. Analyses statistiques

Les données collectées au cours des travaux ont été compilées dans Excel version 2007. Ces données ont été ensuite analysées avec le logiciel XLSTAT- PRO 7.5.2 version 2012. Les moyennes des variables ont été comparées en utilisant le test de Newman-Keuls au seuil de probabilité $p=5\%$. La corrélation de Pearson a été utilisée pour déterminer les relations entre les variables étudiées.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

3.1.1. Variation des paramètres chimiques des sols sous culture de *Jatropha*.

Les paramètres chimiques mesurés sont : le pH, la matière organique, l'azote total et le phosphore assimilable.

✓ pH

Les valeurs du pH ont varié selon les sites (Tableau I). Selon le référentiel technique du BUNASOLS (1999), les sols sont faiblement acides sous le houppier et à 1 m, mais moyennement acides à 2 m du houppier à Torokoro. Les résultats de ce site ne sont pas statiquement différents.

Les sols de Tin sont moins acides que ceux de Torokoro. En effet, le pH de Tin est faiblement acide ($6,1 < \text{pH} < 7,3$) pour l'ensemble des échantillons mais avec une tendance à la baisse au fur et à mesure qu'on s'éloigne du houppier. L'analyse statistique montre deux groupes différents de pH (A et B).

✓ Matière organique

Le *Jatropha* a eu un effet sur la répartition spatiale de la matière organique du sol sur l'horizon 0-20 cm (Tableau I).

A Torokoro, la teneur en matière organique du sol est basse ($0,5\% < \text{MO} < 1\%$) selon BUNASOLS (1999) ; une réduction de la teneur organique de 14,66% a été observée sur les distances **b** et **c** par rapport au houppier (**a**). Cependant, l'analyse statistique n'a pas montré de différences significatives.

Cette même observation a été notée à Tin mais avec une teneur en matière organique plus élevée pour l'ensemble des traitements ($\text{MO} > 3\%$). L'écart en teneur organique allait de 4,82% pour le prélèvement en **b**, à 8,98% pour celui de **c** par rapport au houppier.

✓ Azote total

La variation d'azote a suivi celle de la matière organique sur l'ensemble des sites (Tableau I). Les teneurs sont faibles ($0,02 < \text{N}_{\text{total}} < 0,06$) à Torokoro, mais très élevées à Tin ($\text{N}_{\text{total}} > 0,14$) conformément aux normes BUNASOLS (1999). La variation n'est pas significative sur l'ensemble des deux sites.

✓ Phosphore assimilable

Le phosphore assimilable est variable suivant les sites (Tableau I). A Torokoro, une augmentation de sa teneur du houppier vers l'extérieur de 9,33% et de 13,33% a été observée respectivement en **b** et en **c**. Cette variation est contraire à Tin car une réduction des teneurs de 8,50% et de 22,93% respectivement en **b** et en **c** par rapport au houppier a été observée. Malgré l'augmentation globale des quantités de P assimilable de 2,5 à 3,5 fois à Tin par rapport à Torokoro, les teneurs en phosphore assimilable des sites sont très faibles d'une manière générale ($<5 \text{ mg.kg}^{-1}$).

Tableau I : Variation des paramètres chimiques des sols en fonction de la distance du houppier du *Jatropha*.

Sites	Traitements	Paramètres chimiques des sols			
		pH	MO(%)	Ntotal(%)	P _{as} (mg.kg ⁻¹)
Torokoro	a	6,20 ^A $\pm 0,28$	0,86 ^A $\pm 0,18$	0,04 ^A	0,75 ^A $\pm 0,14$
	b	6,10 ^A $\pm 0,20$	0,75 ^A $\pm 0,12$	0,03 ^A	0,82 ^A $\pm 0,19$
	c	6,03 ^A $\pm 2,26$	0,75 ^A $\pm 0,09$	0,03 ^A	0,85 ^A $\pm 0,20$
Tin	a	6,95 ^A $\pm 0,31$	4,13 ^A $\pm 0,66$	0,19 ^A $\pm 0,04$	2,68 ^A $\pm 0,75$
	b	6,54 ^B $\pm 0,42$	3,94 ^A $\pm 0,89$	0,17 ^A $\pm 0,04$	2,47 ^A $\pm 0,70$
	c	6,46 ^B $\pm 0,36$	3,81 ^A $\pm 0,69$	0,17 ^A $\pm 0,03$	2,18 ^A $\pm 0,77$

NB : Dans la même colonne et pour un même site, les données portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% pour tout traitement. **a**, **b** et **c** correspondent respectivement aux distances 0 m, 1 m et 2 m.

3.1.2. Variation des paramètres biologiques des sols sous culture de *Jatropha*.

✓ Activité biologique globale

La variation journalière de l'activité biologique des échantillons de sol présente une même tendance sur les deux sites (Figure 7 et 8). Le dégagement est plus élevé durant les premiers jours d'incubation avant de décroître jusqu'au 7^{ème} jour. La respiration au 7^{ème} jour a été 3 à 4 fois moins que celle du 1^{er} jour sur l'ensemble des sites. Un regain de l'activité biologique de 1,4 à 2,81 mg de C-CO₂ a été ensuite observé au 9^{ème} et au 11^{ème} jour avant de baisser et se stabiliser au cours des derniers jours (2,25 à 1,54 mg C-CO₂ à Tin contre 1,25 à 0,56 mg C-CO₂ à Torokoro). Les dégagements les plus élevés ont été notés sous les houppiers, suivis des prélèvements à 1 m et de 2 m sur l'ensemble des sites. Les plus forts dégagements journaliers

ont été observés sur le site Tin durant les 21 jours d'incubation pour l'ensemble des traitements.

Les cumuls du dégagement en C-CO₂ sur 21 jours des sites ont montré des variations suivant les traitements (Figure 9).

À Torokoro, le dégagement de CO₂ diminue du houppier jusqu'à 2 m hors houppier. Cette réduction est de 16,16% et de 27,17% respectivement à 1 m et à 2 m du houppier. Le dégagement a été significatif sous le houppier mais ne montrait pas de différence statistiquement à 1 m et à 2 m du houppier.

Sur le site de Tin, le dégagement de CO₂ des échantillons de sol suit la même tendance qu'à Torokoro. Les sols sous houppier respirent plus. La diminution de l'activité biologique sur ce site est de 22,63 % à 1 m et de 33,54% à 2 m par rapport au houppier. L'analyse statistique montre trois groupes significatifs (A, AB et B).

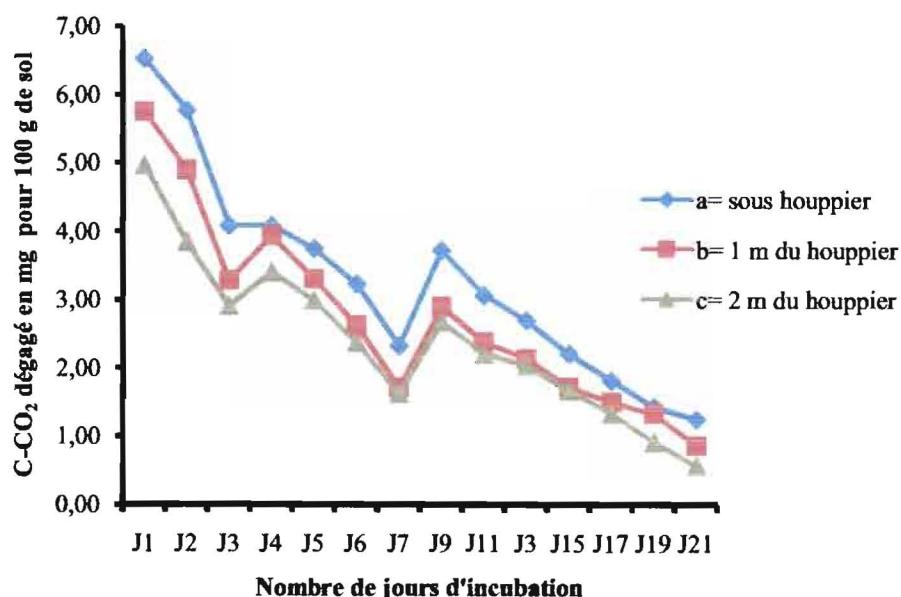


Figure 7 : Evolution du dégagement journalier du CO₂ durant 21 jours d'incubation en fonction de la distance du houppier du *Jatropha* à Torokoro.

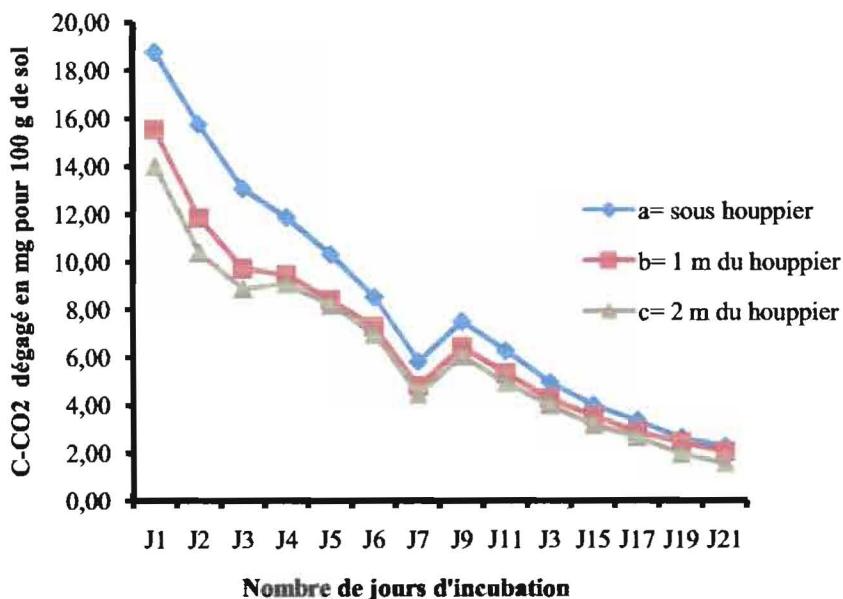


Figure 8 : Evolution du dégagement journalier du CO₂ durant 21 jours d'incubation en fonction de la distance du houppier du *Jatropha* à Tin.

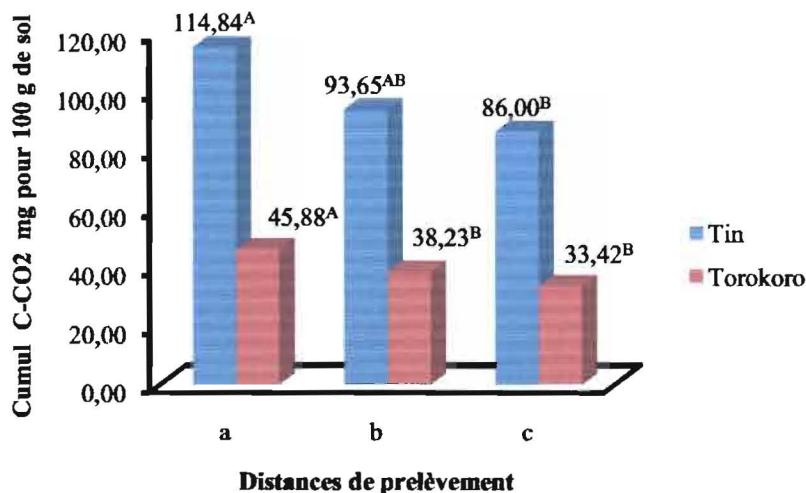


Figure 9 : Variation du cumul C-CO₂ dégagé des sols sous culture de *Jatropha*.

Légende : Pour un même site et pour tout traitement, les données portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%. a, b et c correspondent respectivement aux distances 0 m, 1 m et 2 m.

✓ Biomasse microbienne

L'effet comparé de la quantité microbienne affiche une importante variation entre les sites (Figure 10).

A Torokoro, la biomasse microbienne des sols montre une diminution centrifuge à partir du houppier. Cette diminution était de 18,47% à 35,05% respectivement à 1 m et à 2 m. L'analyse statistique a donné deux groupes différents (1^{er} groupe = traitements sous houppier et le 2^{ème} groupe = traitements à 1 et 2 m du houppier).

La variation de la biomasse à Tin suit la même tendance mais ne montre pas de différence statistique. Ce site accuse une baisse de la quantité microbienne de 7,77 à 13,38% respectivement 2 m et à 1 m par rapport au houppier.

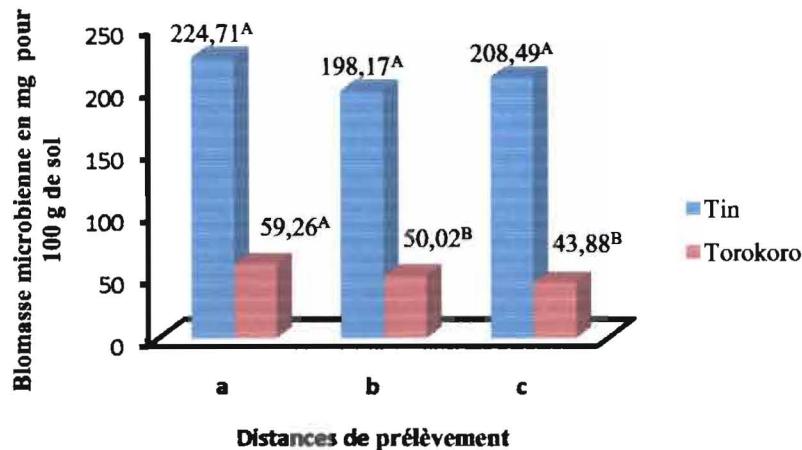


Figure 10 : Variation de la biomasse microbienne des sols sous culture de *Jatropha*.

Légende : Pour un même site et pour tout traitement, les données portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%. a, b et c correspondent respectivement aux distances 0 m, 1 m et 2 m.

✓ Pouvoir endomycorhizogène des sols

La richesse du sol en spores de champignons endomycorhiziens montre des variations selon le point de prélèvement (Figure 11).

A Torokoro, le nombre de propagules fongiques décroît au fur et à mesure qu'on s'éloigne du houppier bien que l'analyse statistique ne montre pas de différence significative entre les traitements. Une baisse de la densité des spores de 4,62 à 6,90% a été observée respectivement à 1 m et à 2 m du houppier.

Cette tendance est inversée à Tin. La densité des spores augmente du houppier vers l'extérieur. Les augmentations vont de 16,01% à 1 m à 21,95% à 2 m du houppier. Les valeurs moyennes sur ce site sont également identiques statistiquement.

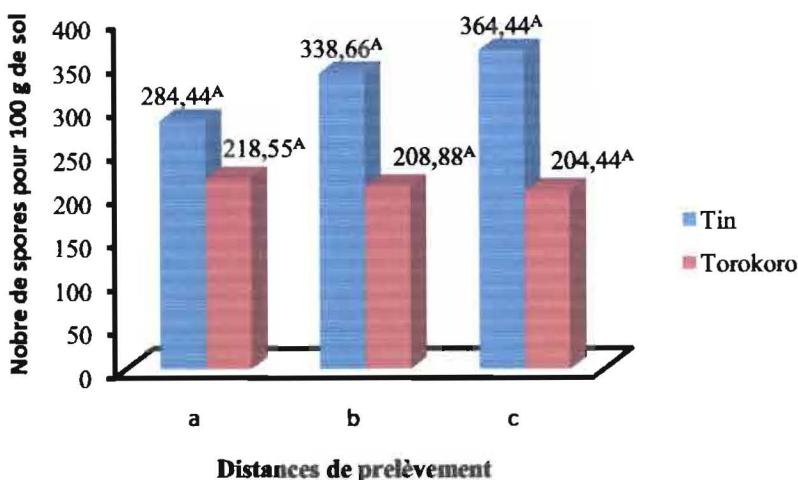


Figure 11 : Variation de la biomasse en spores des champignons endomycorhiziens des sols sous culture de *Jatropha*.

Légende : Pour un même site et pour tout traitement, les données portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%. a, b et c correspondent respectivement aux distances 0 m, 1 m et 2 m.

3.1.3. Relations entre variables chimiques et biologiques sous culture de *Jatropha*.

L’application du modèle corrélatif de Pearson aux données a montré que les paramètres chimiques et biologiques n’étaient pas totalement indépendants dans le sol. Ainsi, que ce soit à Torokoro ou à Tin, des liens existent entre les paramètres chimiques et biologiques dans les parcelles de *Jatropha* (Figures 12, 13 et 14). Une relation significative a été notée entre la teneur en matière organique et l’activité biologique bien que le coefficient de corrélation ne soit élevé ($r^2=0,12$ et $r^2= 0,28$ respectivement à Torokoro et à Tin). La biomasse microbienne est liée à cette même teneur en matière organique du sol des sites avec des coefficients de corrélation (r^2) de 0,43 à Torokoro et de 0,39 à Tin. Par contre, la densité des propagules fongiques se trouve corrélée négativement à la quantité du phosphore disponible sur les deux sites.

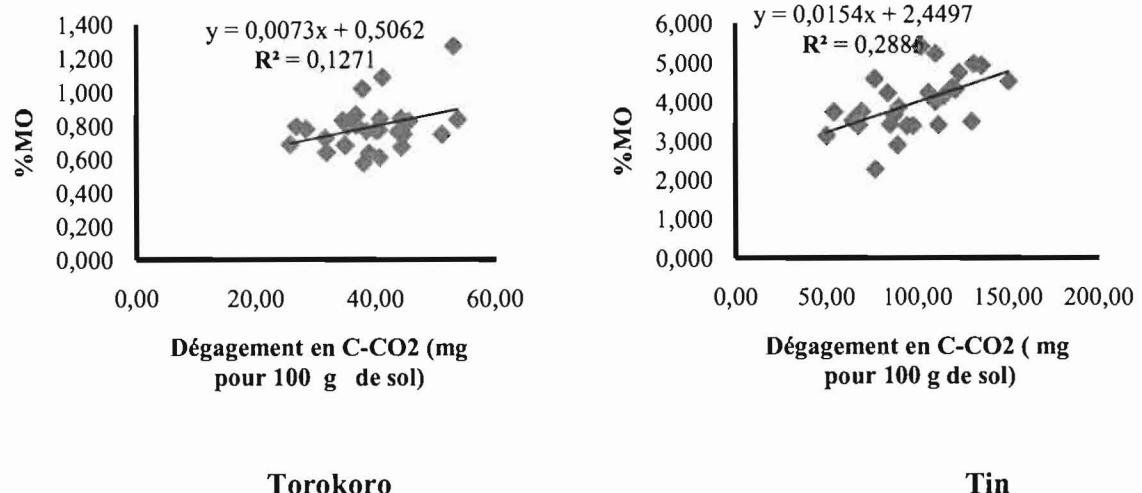


Figure 12 : Relation entre la quantité de MO et le dégagement cumulé en C-CO₂ en mg pour 100 g de sol à Torokoro et à Tin.

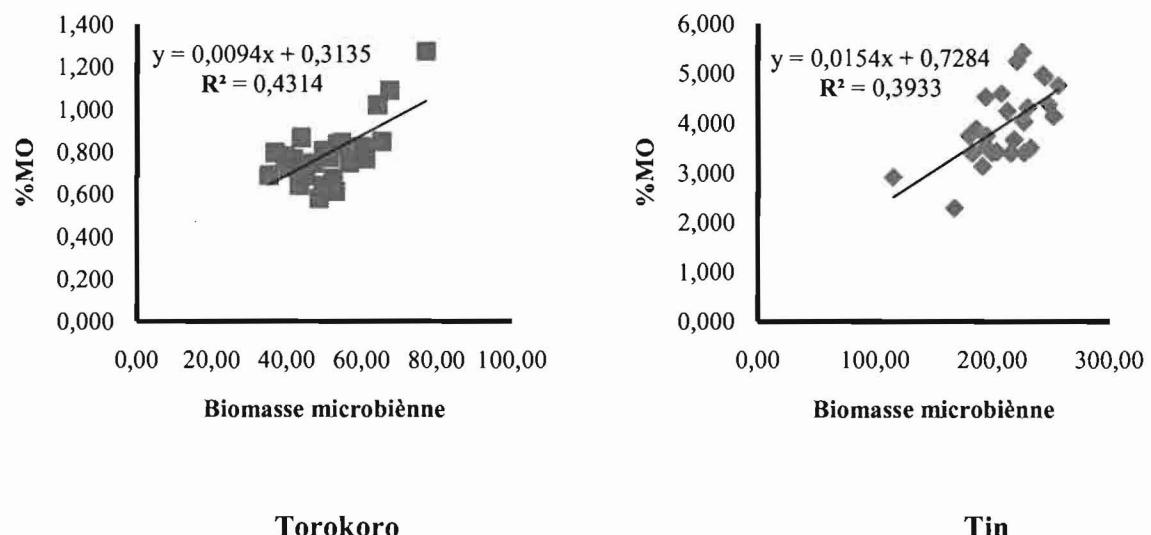


Figure 13 : Relation entre la matière organique du sol et la biomasse microbienne à Torokoro et à Tin.

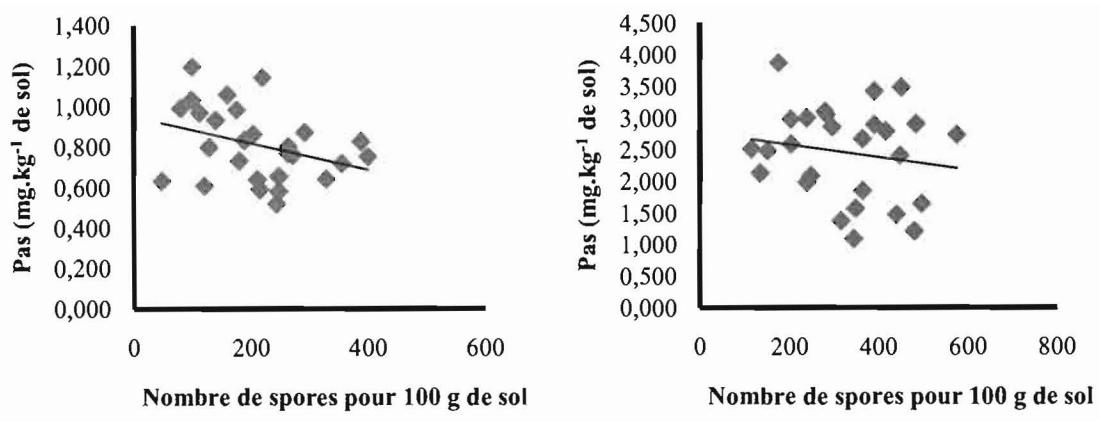


Figure 14 : Relation entre la biomasse mycorhizienne et la quantité de P assimilable du sol sur le site Torokoro et de Tin.

3.2. Discussion.

Le dégagement en CO_2 du sol est lié à sa composition physico-chimique notamment sa teneur en matière organique, en azote et en phosphore (Zombré, 2006). L'évolution journalière de la respiration des échantillons corrobore Sedogo (1981), Hien (1990), Zombré (2006) et Yelemon (2010). Les fortes activités des premiers jours d'incubation traduisent l'existence de substances carbonées facilement minéralisable. Nous pensons aux micro-organismes morts lors de la préparation des échantillons et aux composés labiles tels que les sucres et protéines. La baisse de l'activité microbienne traduit l'épuisement des réserves alimentaires des micro-organismes du sol. Mais, une différence nette demeure entre les sols sous houppier, à 1 m et à 2 m du houppier.

L'activité biologique ayant comme support énergétique la matière organique du sol (Dommergues, 1968 ; Bridgman et Richardson, 1992 ; Sedogo, 1993 ; Nacro, 1997), cet écart de dégagement selon les distances trouve sa justification. Zombré (2006) a aussi trouvé en croûte nue une activité biologique plus faible ne représentant à peine qu'un cinquième (1/5) de l'activité des zones végétalisées. La corrélation positive entre le C- CO_2 et la teneur en matière organique des sols (Figure 12) sur les sites soutient cette hypothèse et corroborent Sedogo (1981), Bacyé (1993), Dianou et Thiombiano (1995), Nacro (1997) et Thiombiano et Dianou (1999) sur la relation linéaire entre la teneur organique du sol et son activité biologique.

Les rhizodépôts sont essentiellement constitués d'excédents racinaires et d'enzymes (Gobat *et al.*, 2010) chez beaucoup d'espèces végétales. Ces substances qui ont parfois des effets stimulateurs de l'activité microbienne pourraient aussi expliquer l'intensité respiratoire au sein de la rhizosphère du *Jatropha*. Somé *et al.* (2007) soutiennent que les transferts d'éléments nutritifs de la partie aérienne vers les parties souterraines, la rhizodéposition et l'adjonction de nouveaux produits métabolisables, stimuleraient l'activité bactérienne ; ce qui augmenterait alors le peuplement microbien avec une action minéralisatrice plus importante. En outre, la biomasse microbienne évaluée sur l'ensemble des deux sites montre une diminution lorsqu'on s'éloigne du houppier. Cette même observation a été faite par Yelemon (2010) sous *Piliostigma reticulatum* quelle que soit la zone phytogéographique. Cet état est lié à la teneur en matière organique qui est plus élevée sous les houppiers. La biomasse microbienne du sol est la fraction minéralisable de la matière organique (Jenkinson et Powlson, 1976). Duchauffour (1991), ITAB (2002) et Girard *et al.* (2011) l'ont évalué respectivement à 2-5%, 2-4 % et de 1-3% de la matière organique du sol. Bacyé (1993), Nacro (1997), ITAB (2002) et Zombré (2006) ont trouvé une corrélation entre ces variables comme l'indique la Figure 13.

Le site de Torokoro, en plus de sa teneur organique faible, a un pH faiblement acide qui ne favorise pas la prolifération microbienne (ITAB, 2002). Bardgett *et al.* (1995) ont aussi trouvé qu'une diminution du pH de 0,7 unité suite à une interruption de fertilisation et de chaulage conduit à une baisse de la biomasse microbienne du sol de 18%.

Cependant, l'absence de différences significatives entre les traitements à Tin pourrait être liée à la nature des microorganismes responsables de la dégradation de la matière organique. Sur ce site, une augmentation de la quantité microbienne de 5,20% s'est produite entre les distances 1 m et 2 m du houppier. Cet état serait lié à l'hétérogénéité du sol. Thiombiano *et al.* (1999) et ITAB (2002) ont aussi trouvé que le sol n'est pas toujours homogène et que la distribution spatiale de certains paramètres chimiques peut se traduire de façon significative sur les paramètres biologiques. Aussi, le port des plants du *Jatropha* a-t-il eu un effet sur la distribution de la biomasse qui se retourne au sol. Le site est vallonné, sa pente est >5% et les plants sont plus élancés à ceux du site de Torokoro. La conjugaison de ces facteurs favorise l'effet des vents et l'érosion qui pourraient influer sur la répartition des sources trophiques nécessaires à la prolifération microbienne (Zombré, 2006).

Le pouvoir mycorhizogène des deux sites est acceptable (>1500 propagule. kg^{-1}) selon ITAB (2002). Ce paramètre est aussi indicateur d'un bon état biologique des sols. La mycorhization nécessite un certain nombre de conditions pour s'exprimer (Asimi, 2009). Le site de Torokoro est pauvre en éléments chimiques d'une manière générale (BUNASOLS, 1999).

Les paramètres chimiques des zones proches du houppier étant meilleures, nous aurons une bonne expression de la mycorhization à ces niveaux pour répondre aux besoins minéraux de la plante. L'effet positif de l'amélioration du pH du sol sur la mycorhization a été aussi souligné par ITAB (2002).

Cependant, le niveau excessif en éléments fertilisants notamment en phosphore et en azote est un facteur qui limite la mycorhization (ITAB, 2002 ; Asimi, 2009). Le site de Tin a une teneur en phosphore et en azote relativement élevées ; la plante ayant la possibilité de s'alimenter dans son milieu, n'utilise pas de symbiose mycorhizienne d'où une baisse du nombre de spores sous les houppiers. Ces mêmes observations ont été faites par Haro (2011) dans les sites de Yakouta et de Soumoussou. Asimi (2009) confirme que les taux de mycorhization sont inversement proportionnels aux teneurs en N, P et C. La disponibilité des nutriments au voisinage du *Jatropha* serait donc la cause de la réduction de la densité des spores au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'arbre. La corrélation négative (Figure 14) entre la disponibilité en phosphore et le nombre de spores sur les sites étudiés soutient cette analyse.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES.

Le développement de la culture du *Jatropha* dans les pays en voie de développement est une réalité. La plante présente des vertus qui couvrent plusieurs usages aussi bien en milieux rural qu'urbain. L'insuffisance de littératures précises au Burkina Faso sur cette espèce qui contient un poison (la curcine) dont la portée reste peu connue dans le sol, nous a conduit à animer le débat scientifique, en étudiant l'effet de cette plante sur les propriétés biologiques des sols dans les exploitations agricoles de la zone Ouest du Burkina Faso.

L'étude s'est déroulée sur deux sites (Torokoro et Tin) à travers un dispositif en milieu paysan et la mesure de quelques paramètres chimiques (pH, MO, N_{total} et P assimilable) et biologiques (activité microbienne, biomasse microbienne et le pouvoir endomycorhizogène à travers la biomasse des spores) du sol.

Tout en visant une meilleure connaissance du *Jatropha* afin de permettre une bonne intégration de la culture dans les systèmes de production actuels, l'essentiel de ce travail de recherche devrait vérifier deux hypothèses relatives à la biologie du sol sous culture de cette espèce.

Nous retiendrons que les paramètres chimiques du sol ont varié selon la distance au houppier du *Jatropha curcas* L. Le pH, la MO, le N_{total} ont eu des valeurs plus élevées sous le houppier, et diminuaient au fur et à mesure qu'on s'éloignait de l'arbre. Le phosphore assimilable a montré une augmentation au fur et à mesure qu'on s'éloignait du houppier à Torokoro mais a affiché un sens de variation contraire à Tin.

Les propriétés biologiques restent globalement liées à la chimie. Le site de Tin est plus riche que celui de Torokoro. Cette richesse s'est traduite par une amélioration significative de l'activité biologique sur ce dernier.

Ainsi, par rapport aux différentes distances de prélèvement (**0 m, 1 m et 2 m**), l'activité biologique et la biomasse microbienne ont été plus intenses sous houppier et ont diminué au fur et à mesure qu'on s'écartait de celui-ci sur l'ensemble des sites. Le pouvoir endomycorhizogène reste lié à la disponibilité minérale sur les sites. Il est resté faible sous houppier mais avec une augmentation lorsqu'on s'éloignait de plus en plus de celui-ci à Tin. A Torokoro par contre, l'étude a montré une biomasse de spores plus importante au voisinage du système racinaire.

Ces résultats montrent que la biomasse microbienne et l'activité biologique du sol changent selon la distance du houppier de l'arbre. La première hypothèse de recherche est donc confirmée.

La seconde relative à l'accentuation de la biomasse en spores endomycorhiziennes du sol sous culture de *Jatropha* n'est pas statistiquement vérifiée sur l'ensemble des sites.

Ce travail est une esquisse de recherche sur le *Jatropha*. Il contribuera à alimenter les connaissances relatives à l'effet de la culture de cette plante sur les propriétés biologiques du sol.

Cette recherche ouvre également des perspectives d'approfondissement. Ainsi, nous suggérons :

- ✓ la poursuite de l'étude sur les mêmes sites avec des parcelles témoins qui nous permettront de tirer une conclusion précise sur l'effet de la plante sur le sol.
- ✓ L'identification des genres et les espèces de microbes (bactéries et champignons) responsables de l'activité biologique sous *Jatropha*. En effet, la plante pourrait abriter une pédofaune spécifique ; la variation de la quantité microbienne non significative à Tin alors que la respiration montre trois (3) groupes statistiques exige de pousser l'analyse.
- ✓ L'évaluation de la mycorhization racinaire du *Jatropha* afin de compléter les informations liées au pouvoir mycorhizogène du sol
- ✓ la répétition de cette étude dans d'autres zones agroclimatiques afin d'intégrer l'effet climat et d'étendre le domaine de validité des résultats.

BIBLIOGRAPHIE

Achten W. M. J., Verchot L., Franken Y. J., Mathijs E., Singh V. P., Aerts R. & Muys B. 2008. *Jatropha* bio-diesel production and use: review, *Biomass and Energy*. 32 (12): pp. 1063-1084.

Aregheore E. M., Makkar H. P. S. & Becker K., 1998. Assessment of lectin activity in a toxic and a non-toxic variety of *Jatropha curcas* using latex agglutination and haemagglutination methods and inactivation of lectin by heat treatments. *Journal-of-the-science-of-food-and-agriculture*, 1998. 77 (3): pp. 349-352.

Asimi S., 1979. Interactions entre les Endomycorhizes VA, le Rhizobium et le Phosphore du sol chez le soja (*Gycine max(L) Merrill, var Amsoy*). Thèse de Doctorat, Université de Dijon, 32 pages.

Asimi S., 2009. Influence des modes de gestion de la fertilité des sols sur l'activité microbienne dans un système de cultures de longue durée au Burkina Faso. Thèse de doctorat d'état ès-sciences naturelles. 177 pages.

Aun K. H., 2008. Performance and quality of pure *Jatropha* plant oil versus *Jatropha* methyl ester, 8 pages.

Azmal A. K. M., Marumoto T. & Shindo. H., 1997. Changes in microbiol biomass after continuous application of Azolla and rice straw in soil. *Soil Science and Plant Nutrition*, 43 (4): pp. 811-818.

Bachelier G., 1973. Activités biologiques et techniques simples qui permettent l'évaluation. *Cah. ORSTOM, série pédologie* 11 (1) : pp. 65–77.

Bachelier G., 1978. La faune du sol, son écologie et son action. Paris, OSRTOM, 391 pages.

Bacyé B., 1993. Influence des systèmes de culture sur l'évolution du statut organique et minéral des sols ferrugineux et hydromorphes de la zone soudano- sahélienne (Province du Yatenga , Burkina Faso). Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Ex Marseille, France, 243 pages.

Bado B. V., 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina- Faso. Thèse de Doctorat de troisième cycle, Université de Laval, Québec, 166 pages.

Balaisubramanian V. & Sekayange L., 1983- 1989. Effets de la culture en couloir sur les propriétés du sol et les performances des arbustes et des cultures vivrières dans un environnement semi-aride au Rwanda, article : pp. 180-190.

Bally R., Heuling T. & Lemanceau P., 1999. Les microbes et le cultivateur. *Biofutur* 185: pp. 17-19.

Bardgett R. D. & Leemans D. R., 1995. The short term effects of cessation fertilizers applications liming, and grazing on microbial biomass and activity in reseeded upland. *Bio.Fert.Soil* 19 : pp. 148-154.

Bazongo P., 2011. Introduction du *Jatropha* dans les exploitations agricoles de la zone ouest du Burkina Faso : état des lieux et effet de la plante sur les propriétés chimiques des sols et les cultures associées. Mémoire de DEA, IRD /UPB, BF, 48 pages.

Belsky A. J., Amundson R. G., Duxbury J. M., Riha S. J., Ali A. R. & Mwonga S. M., 1989. The effects of trees on their physical, chemical and biological environments in a semi-arid savanna in Kenya. *Journal of Applied Ecology* 26: pp. 1005-1024.

Bertin C., Yang X. H. & Weston L. A., 2003. The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphère. *Plante and soil* 26.1: pp. 67-83.

Biswas S., June 9–10, 2006. Biodiesel: technology and business opportunities. in Proceedings of the biodiesel conference toward energy independence-focus of *Jatropha*, Hyderabad, India, New Delhi.

Blind J., Dabat M-H., Faugere G., Hanff E. & Weisman N., 2008. Opportunités de développement des biocarburants au Burkina Faso. Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques, Ouagadougou, BF 57 pages.

Bonkoungou E. G., Ayuk E. T. & Zoungrana I., 1993. Les parcs agro forestiers des zones semi-ardes d'Afrique de l'Ouest, 226 pages.

Botoni E., Kara A., Augusseau X., Cornelius M., Saidi S. & Daget P., 2003. Evolutions agraires et construction des paysages végétaux : l'exemple du village de Torokoro en zone Sud-soudanienne du Burkina Faso. In: Communication au colloque SAGERT, Montpellier, France, page. 16.

Boulard B., 1968. Les Mycorhizes: Monographie 2. Ed. Masson et Compagnie ; 127 pages.

Bridgham S. C. & Richardson C., 1992. Mechanisms controlling soil respiration (CO₂ and CH₄) in southern peatlands. *Soil Biol. Biochem.*, 24: pp. 1089-1099.

Brundrett M. C., 2004. Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biol. Rev.* n° 79: pp. 473-495.

Brundrett M. C., 1991. Mycorrhizas in natural ecosystems. In *Advances in Ecological Research* (A. MACFAYDEN, M. BEGON and A. H. FITTER, Eds): pp. 171-313.

- Brundrett M. C., Piché Y. & Peterson R. L., 1984.** A new method for observing the morphology of vesicular-arbuscul mycorrhizae. Canada Journal of Botany, 62 : pp. 2128-2134.
- Buldgen A. & Dieng A., 1997.** Andropogon gayanus var. bisquamulatus : une culture fourragère pour les régions tropicales. Gembloux, Belgique : Les Presses agronomiques de Gembloux, 171 pages.
- BUNASOLS., 1999.** Etude morphopédologique des provinces du Houet et du tuy, 76 pages.
- BUNASOLS., 1999.** Manuel pour l'évaluation des terres. Document technique : pp. 109-122.
- BUNASOLS., 1989.** Etude morphopédologique de la province de la Comoé. Echelle 1/100000. Rapport technique n°06. 66 pages.
- BUNASOLS., 1986.** Méthodes d'analyse physique et chimique des sols, eaux et plantes. Document technique n° 3 : pp. 48-128.
- Cayrol J-C. & Caroline D-C., 1992.** La lutte biologique contre les Nématodes phytoparasites. Laboratoire de Biologie des Invertébrés INRA, 17 pages.
- Chaussod R., Nicolardot B. & Catroux G., 1986.** Mesure en routine de la biomasse microbienne des sols par la méthode de fumigation au chloroforme. *Science du Sol*, 2 : pp. 201-211.
- Coleman D. C., Crossley Jr. D. A. & Hendrix P. F., 2004.** Fundamentals of Soil Ecology. Elsevier, Amsterdam, 27 pages.
- Coulibaly B. & Grog C., 2009.** Les impacts des biocarburants sur les zones humides ivoiriennes. *Interview*, Magazine radiophonique (Côte d'Ivoire/AMARC/Convention Ramsar sur les zones humides/FAO), 3 pages .
- CPCS., 1967.** Classification des sols : Travaux de la commission de pédologie et de cartographie des sols . ENSA-Grignon, Laboratoire de pédologie-Géologie, Paris , 96 pages.
- Daey O. K., Francis G., Jan F., Rijssenbeek W., Riedacker A., Foidl N. & Jongschaap J., 2007.** Position Paper on *Jatropha curcas*, State of the Art, Small and Large Scale Project Development, 7 pages.
- Delhaize E., Gruber B. D. & Ryan P. R., 2007.** The roles of organique anion permease in aluminium resistance and mineral nutrition. *FEBS letters* 581.12 : pp. 2255-2262.
- Dianou D. & Thiombiano L., 1995.** Variabilité de l'activité biologique des états de surface des sols de Katchari en milieu désertifi é au Burkina Faso. INERA. Documents techniques 3. 9 pages.

- Dickman S. R. & Bray R. H., 1940.** Colorimetric determination of phosphate. *Ind. Eng. Chem., Anal. Ed.*, 12 : pp. 665-668.
- Domergue M. & Pirot R., 2008.** *Jatropha curcas* L. Rapport de synthèse bibliographique, CIRAD, 118 pages.
- Dommergues Y., 1968.** Dégagement tellurique de C0₂. Mesure et signification. *Annales de l'Institut Pasteur*, 115: pp. 627-656.
- Dommergues Y., 1960.** La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans les sols. *Agron. Trop.* 15 : pp. 54-60.
- Dommergues Y., & Mangenot F., 1970.** Ecologie microbienne du sol. Paris, France, Masson ; 796 pages.
- Driver J. D., Holben W. E. & Rillig M. C., 2005.** Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology & Biochemistry* n° 37 : pp. 101–106.
- Duchaufour P., 1991.** Pédologie. Sol, végétation, environnement. Ed. Masson, 289 pages.
- Duchaufour P., 1997.** Pédologie. Tome 1 , Pédogénèse et classification. Paris, Masson, 447 pages.
- Duponnois. R., Cadet. P., 1994.** Interactions of *Meloidogyne javanica* and *Glomus* sp. on growth and N2 fixation of *Acacia seyal*. *Afro-Asian Journal of Nematology*, n° 4: pp. 228-233.
- Endelevu E., 2009.** *Jatropha* Reality Check: A field assessment of the agronomic and economic viability of *Jatropha* and other oilseed crops in Kenya. 27 pages.
- FAO., 1998.** Base de référence mondiale pour les ressources en sols. Rapport sur les ressources en sols du monde n°84. Rome : FAO.
- Euler H. & Gorri D., 2004.** Case Study "*Jatropha curcas*", Global Facilitation Unit for Underutilized Species (GFU) and Deutsche Gessellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ): Franfurt, Germany, page 63.
- Feng G., Song Y. C., Li X. L., & Christie P., 2003.** Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to utilization of organic sources of phosphorus by red clover in a calcareous soil. *Soil Ecology* n° 22: pp. 139-148.
- Finck A., 1976 .** Pfanzenernährung, stichworten. Verlag F.hirt,Kiel. 5 seite
- Fortin J. A., Bécard G., Declerck S., Dalpé Y., Arnaud M., Coughlan A.P. & Piché Y., 2002.** Arbuscular mycorrhiza on root-organ cultures. *Canadian Journal of Botany* n° 80: pp. 1-20.

- Gavito M. E. & Olsson P. A., 2003.** Allocation of plant carbon to foraging and storage mycorrhizal in arbuscular mycorrhizal fungi. *FEMS Microbiology Ecology* n° 45: pp. 181-187.
- Gerdmann J. W. & Nicolson T. H., 1963.** Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans.Br. Mycol.Soc.* 46, pp 235-244.
- Gianinazzi S., Schüepp H., Barea T. M. & Hasselwandter K., 2002.** Mycorrhizal technology in agriculture :from genes to bioproducts. Birkhäuser. Verlag, Basel, CH, 296 pages.
- Gianinazzi-Pearson V., 1976.** Les mycorhizes endotrophes: état actuel des connaissances et possibilités d'application dans la pratique culturale. *Annual Revue of Phytopathololoy.*: 8 (3): pp. 249-256.
- Gianinazzi-Pearson V., Branzanti B. & Gianinazzi S., 1989.** In vitro enhancement of spore germination and early hyphal growth of a vascular-arbuscular mycorrhizal fungus by host root exudates and plant flavonoids. *Symbiosis* n° 7: pp. 243-255.
- Girard M-C., Walter C., Rémy J-C., Berthelin J. & Morel J-l., 2011.** Sol et environnement , 2ème edition, DUNOD: pp. 61-864.
- Gobat J-M., Arago M. & Matthey W., 2010.** Le sol vivant: Base de pedologie – Biologie des sols. Presse polytechniques et universitaires Romanes, 3^e édition : pp. 11- 46.
- Godin V. & Spensley P., 1971.** Oils and Oilseeds. TPJ Crop and Product Digest, pp. 107-110
- Gosling P., Hodge A., Goodlass G. & Bending G D., 2006.** Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agric. Ecosyst. and Envi.* n° 113: pp. 17-35.
- Gour V., Singh B., Swaminathan R. & Ponraj V., June 9-10, 2006.** Production practices including post-harvest management of *Jatropha curcas*. in Proceedings of the biodiesel conference toward energy independance - Focus of *Jatropha*, Hyderabad, India, New Delhi.
- Guillaume Zabi., 2009.** Les impacts des biocarburants sur les zones humides ivoiriennes. Interview, Magazine radiophonique (Côte d'Ivoire/AMARC/Convention Ramsar sur les zones humides/FAO), 3 pages.
- Guinko S., 1984.** Végétation de la Haute-Volta. Thèse de Doctorat es Sciences Naturelles, Univ. de Bordeaux II, T 1 et 2, 394 pages.
- Hänggi M., 2008.** Die entzauberte Nuß. Die Wochenzzeitung.
- Hardie K., 1985.** The effect of removal of extraradical hyphae on water uptake by vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *New Phytologist* n° 101 : pp. 677-684.

Haro H., 2011. Effets d'inoculum de champignons mycorhiziens arbusculaires sur la productivité du *Niebé Vigna unguiculata* (L.) Walp. Mémoire de DEA, Université de Ouagadougou ; 63 pages.

Henning K. R., Baganí., Allemagne. & Ramorafeno T., 2005. Le Manuel *Jatropha*. Green Island Association, Madagascar, 20 pages.

Henning K. R., 2002. Utilisation des savoirs locaux sur le *Jatropha*. Article, Note CA n°42, 4 pages.

Hien V., 1990. Pratiques culturales et évolution de la teneur en azote organique utilisable par les cultures dans un sol ferralitique du Burkina Faso. Thèse de doctorat de l'INPL, Nancy, 149 pages.

Hillebrand W. F., Lundell G. E. F., Bright H. A. & Hoffman J. I., 1953. Applied inorganic analysis, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 1034 pages.

ICRAF., 1995. Agroforestry for natural resource management and food production in the sahel. A research strategy. 26 pages.

ITAB., 2002. Activités biologiques et fertilité des sols: Intérêts et limites des méthodes analytiques disponibles, 25 pages.

Jackson L. E., Miller D., & Smith S.E., 2001. Arbuscular mycorrhiza colonization and growth of wild and cultivated lettuce in response to nitrogen and phosphorus. *Scientia Horticulturae* n° 94 : pp. 205-218.

Jaillard B., 1984. Mise en évidence de la néogenèse de sable calcaire sous l'influence des racines : Incidence sur la granulométrie du sol ; *Agronomie* 4 : pp. 91-100.

Janssen B.H., 2006. The ideal soil fertility. *Agric. Ecosyst. and Envi.* n° 116: pp. 64-71.

Jenkinson D. S. & Ladd J. N., 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: *Soil Biocbemistry*. Paul E. A. et Ladd I. N. (Ed), New York, 5: pp. 415-471.

Jenkinson D. S. & Powlson D. S., 1976. the effect of biocidal treatments on metabolism in soil. V: A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 8: pp 209-213.

Joner E. J. & Leyval C., 2003. Phytoremediation of organic pollutants using mycorrhizal plants: a new aspect of rhizosphère interactions. *Agronomy* n° 23 : pp. 495-502.

Jones N. & Miller J. H., 1992. *Jatropha curcas*. A multipurpose species for problematic sites, L.r. series, Editor., World bank, Karlsruhe, 29 pages.

Klingeman W. E., Auge R. M. & Flanagan P. C., 2002. Arbuscular Mycorrhizal assessment of ornamental trees grown in Tennessee field soils. *HortScience* n° 37: pp. 778- 782.

- Koide R. T., 1991.** Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. *New Phytologist* n° 117: pp. 365-386.
- Koide R. T., 1985.** The nature of growth depressions in sunflower caused by vesicular arbuscular mycorrhizal infection. *New Phytologist* n° 99 : pp. 449 - 462.
- Latapie R., 2007.** La culture du pourghère : Une activité génératrice de revenu qui permet de faire face aux enjeux énergétique du Mali. Cas du projet Garalo Bagani Yelen. Master, Université de Rennes 1. 104 pages.
- Lavelle P., Decaens M., Aubert M., Barot S., Bloiun M., Bureau F., Magerie P., Mora P. & Rossi J-P., 2006.** Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42 (1): S3-S15.
- Liu A., Hamel C., Elmi A., Costa C., Ma B. & Smith D. L., 2002.** Concentrations of K, Ca and Mg in maize colonised by arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. *Canadian Journal of Soils Science* n° 82: pp. 271-278.
- Lottmann J. H., 2008.** Lessons to be learned for Tunisia from the cultivation and utilization of *Jatropha curcas* Linné (JCL) worldwide. Word-doc
- Low T. & Booth C., 2007.** The Weedy Truth About Biofuels In Melbourne: the Invasive Species Council: pp. 1-20.
- Makkar H. P. S., 1997.** Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*. *Journal-of-agricultural-and-food-chemistry* n°45 (8): pp. 3152-3157.
- MARA. , 1995.** Guide de gestion phytosanitaire des cultures au Burkina Faso. 1^{ère} édition, 110 pages.
- Massicotte H. B., Melville L. H., Molina R. & Peterson R. L., 1993.** Structure and histochemistry of mycorrhizae synthesised between *Arbutus menziesii* (Ericaceae) and two basidiomycetes, *Pisolithus tinctorius* (Pisolithaceae) and *Piloderma bicolour* (Corticaceae). *Mycorrhiza* n° 3: pp. 1-11.
- Mohammad A., Mitr A. B. & Khan A. G., 2004.** Effects of sheared-root inoculum of *Glomus intraradices* on wheat grown at different phosphorus levels in the field Agriculture. *Ecosystems and Environment* n° 103: pp. 245–249.
- Muller E. B., Stouthamer A. H. & Van V. H. W., 1995.** Simultaneous NH_3 oxidation and N_2 production at reduced N_2 tensions by sewage sludge subcultured with chemolithotrophic medium. *Biodegradation*, 6: pp. 339-349.

- Münch E. & Kiefer J., 1986.** Le Pourghère (*Jatropha curcas* L.), Botanique, écologie, culture (1ère partie), produits de récolte, filières de valorisations, réflexions économiques (2 ème partie). Université de Stuttgart - Hohenheim. 276 pages.
- 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. These de doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, France 302 pages.
- Neff C. & Scheid A., 2008.** Les Biocarburants : Analysent du potentiel de production de biocarburants à l'échelle internationale et en Tunisie. Etude GTZ. Université de Karlsruhe, 29 pages.
- Ogbebor N. O., Adekunle A. T. & Enobakhare D. A., 2007.** Inhibition of *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Sac, causal organism of rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) leaf spot using plant extracts. *African Journal of Biotechnology* n°6 (3): pp. 213-218.
- Ouédraogo B., 2008.** Le biocarburant issu du *jatropha* gagne du terrain. Article, Inter Press Service (IPS), Afrique, Burkina Faso. 1 page.
- Ouédraogo M., 2000.** Etude Biologique et Physiologique du Pourghère, *Jatropha curcas* L., UFR/ SVT, Université de Ouagadougou, Ouagadougou, Burkina Faso: 290 pages.
- Paul E. A. & Clark F. E., 1996.** Soil microbiology and biochemistry. Second Edition; Academic press; San Diego, 340 pages.
- Peacock A. D., Mullen M. D., Ringelberg D. B., Tyler D. D., Hedrick D. B., Gale P. M. & White D. C., 2000.** Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate applications. *Soil Biology and Biochemistry*, 33 (7-8): pp. 1011-1019.
- Pellet J. D. & Pellet E., 2007.** *Jatropha curcas*, le meilleur des biocarburants : mode d'emploi, histoire et avenir d'une plante extraordinaire. Lausanne (Favre). 1 page.
- Phillips C. J., Harris D., Dollhopf S. L., Gross K. L., Prosser J. I. & Paul E. A., 2000.** Effects of agronomic treatments on structure and function of ammonia-oxidizing communities. *Applied and Environmental Microbiology*, 60 (12): pp. 5410-5418.
- Poth M., 1986.** Dinitrogen production from nitrite by a *Nitrosomonas* isolate. *Appl. Environ. Microbiol.*, 51: pp. 957-959.
- Pousset J., 2005.** Mycorhizes : pourquoi et comment profiter de leurs bienfaits. *Document Biodoc* n° 8, 4 pages.

- Pozo M. J. & Azcom A. C., 2007.** Unraveling mycorrhiza induced resistance. *Current opinion in plant biology* 10: pp. 393-398.
- Rajapaksha R. M. C. P., Tobor-Kaplon M. A. & Baath E., 2004.** Metal toxicity affects fungal and bacterial activities in soil differently. *Applied and Environmental Microbiology* vol. 70, n°. 5 : pp. 2966–2973.
- Ratnadass A., 1997.** Perspectives de gestion biointensive des foreurs des tiges de sorgho en Afrique de l’Ouest. *Insect Science and its Application*, Vol. 17-2: pp. 227-233.
- Rombké J., Sousa J P., Schouten T. & Rieper T. F., 2006.** Monitoring of soil organisms: a set of standardized field methods proposed by ISO. *European Journal of Soil Biology*, 42(1): S61-S63.
- Ruiz-Lozano J. M., 2003.** Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies. *Mycorrhiza* n° 13: pp. 309-317.
- Ruiz-Lozano J. M. & Azcon R., 1995.** Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plants as affected by fungal species et water status. *Physiologia Plantarum* n° 95: pp. 472-478.
- Sawamoto T., Hatano R., Yajima T., Takahashi K. & Isaev A. P., 2000.** Soil respiration in Siberian Taiga Ecosystems with different histories of forest fire. *Soil Sc. Plant Nutr.*, 46(1) : pp. 31-42.
- Sedogo M. P., 1981.** Contribution à l’étude de la valorisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride. Matière organique du sol, nutrition azotée des cultures. Thèse de docteur Ingénieur, INPL, Nancy, 135 p.
- Sedogo P. M., 1993.** Évolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de Doctorat ès Sciences : Université de Côte d’Ivoire (Abidjan), Côte d’Ivoire : 295 pages.
- Selosse M-A., 2012.** La biodiversité invisible et active des micro-organismes. Centre d’écologie fonctionnelle et évolutive, CNRS, Rale d’eau N°148, 3 pages.
- Selosse M-A. & Le Tacon F., 1999.** Les champignons dopent la forêt. *La recherche* 319, pp 33-35.
- Sene M., 2009.** Faisabilité de traitement des eaux usées domestiques par filtres plantes d’espèces utilitaires : *Jatropha curcas* L. au Burkina Faso. Mémoire de fin d’études, 2iE, 55 pages.
- Sharma N., 2007.** *Jatropha* Soil Conditions & Fertilization - Reclamation of ash ponds and cultivation of *Jatropha curcas* using arbuscular mycorrhiza fungi as technology demonstration for biofuel production and environmental cleaning in Chattisgarh state. in Expert Seminar on *Jatropha curcas* L. Agronomy and Genetics. Wageningen.

Sharp R. & Macfarlane G. T., 2000. Chemostat enrichments of human feces with resistant starch are selective for adherent butyrate-producing Clostridia at high dilution rates. *Applied Environmental Microbiology*, 66 (10): pp. 4212-4221.

Smith S. E. & Read D. J., 1997. Mycorrhizal Symbiosis. 2nd Ed. *Academic Press*, London, UK, 605 pages.

Somé H. K., 2009. L'introduction du *Jatropha curcas* L. dans les exploitations agricoles de la zone ouest du Burkina Faso : état des lieux et caractérisation des systèmes de production. Rapport de stage BTS/pédologie CAP/M/Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 45 pages.

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

Spiegel-Online W., 2008. Ölreserven, der Alptraum der Saudis.

Strullu D. G., 1991. Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées. Techniques et Documentation Lavoisier ; 3ème Edition, Paris, 250 pages.

Thiombiano L. & Dianou D., 1999. Activité biologique globale dans trois états de surface des sols sahéliens. *A.U.O, série B VII*: pp. 179–187.

Thompson J. P., 1994. Inoculation with cropped soil overcomes long-fallow disorder of turnover. In: *Soil Biocbemistry*. Paul E. A. et Ladd 1. N. (Ed), New York, 5: pp. 415-471.

Tiwari A. K., Kumar A. & Raheman H., 2007. Biodiesel production from *Jatropha* oil (*Jatropha curcas*) with high free fatty acids: An optimized process. *Biomass & Bioenergy*, 31 (8): pp. 569-575.

Traoré K., 2009. Synthèse Bibliographique sur le *Jatropha curcas* à l'Ouest du Burkina.. INERA. GRN/SP. Rapport d'activités. Burkina Faso, 8 pages.

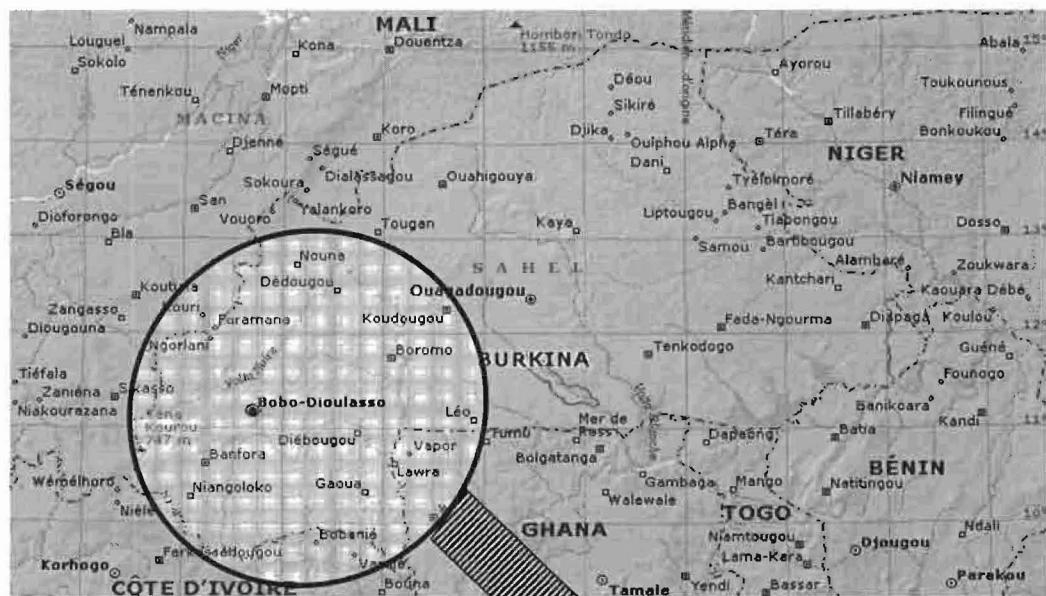
Traoré M., 1995. Le poughère « Bagani » et ses avantages. Mémoire de fin d'études. Projet poughère, DNHE-GTZ, Rép du Mali, 22 pages.

Traoré M., Lombo F., Thio B., Ouattara B., Ouattara K. & Sedogo P. M., 2011. Influence de la rotation culturale, de la fertilisation et du labour sur les populations de nématodes phytoparasites du sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Biotechnol. Agron. Soc*: pp. 59-66.

Traoré M., Nacro H. B., Tabo R., Nikièma A. & Ousmane H., 2012. Potential for agronomical enhancement of millet yield via *Jatropha curcas* oilcake fertilizer amendment using placed application technique. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6 (2): pp. 808-819.

- Traoré S., Thiombiano L., Millogo J. R. & Guinko S., 2007.** Carbon and nitrogen enhancement in Cambisols and Vertisols by *Acacia* spp. in eastern Burkina Faso: Relation to soil respiration and microbial biomass. *Applied Soil Ecology* 35: pp. 660-669.
- Tu C., Tzgerald F. I. L., Booker T., Dorothy M., Watson. & Xin Chen., 2005.** Mycorrhizal mediation of plant N acquisition and residue decomposition: Impact of mineral N inputs. *Global Change Biology*, n°12 : pp.793–803.
- Vedie H. & Geffroy T., 2005.** Lutte contre les nématodes à galles : Test de différents engrais verts nématicides .laboratoire de nématologie du CBGP / IRD de Montpellier, France, 5 p
- Vidal V. A. C., 1962.** Oleaginosas do Ultramar Portugal. Junta Invest. Ultra: pp. 129-145.
- Walkley A. & Black I. A., 1934.** An examination method of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: pp 29-38.
- Wilbur., 1997.** A synopsis of *Jatropha*, subsection Eucurcas, with the description of two new species from Mexico. *J. Elisha Mitchell Sci. Soc.*, 70: pp. 92-101.
- Wu J., Joergensen R. G., Pommerening B., Chaussod R. & Brookes P. C., 1990.** Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction - An automated procedure. *Soil Biol. Biochem.*, 22 : pp. 1167-1169.
- Yelemon B., 2010.** Biologie et écologie des espèces du genre *Piliostigma* et leur contribution à la dynamique de la matière organique des sols en zone sahélo-soudanienne au Burkina Faso, Thèse de Doctorat, Université de Ouagadougou, 150 pages.
- Yoni M., 2005.** Contribution à l'étude de la dynamique de la matière organique du sol des jachères à *Andropogon gayanus* de Bondoukuy, Ouest du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Université de Ouagadougou, 144 pages.
- Youl S., 2009.** Dynamique et modélisation de la dynamique du carbone dans un agro-système de savane de l'ouest du Burkina Faso. Doctorat Unique, 186 pages.
- Young A., 1989.** Agroforestry for soil conservation. *Science and Practice of Agroforestry* “4, . ICRAT.CAB International . Wallingford, 275 pages.
- Zombré N. P., 2006.** Variation de l'activité biologique dans les Zippella (sols nus) en zone subsahélienne du Burkina Faso et impact de la technique du zaï (technique des poquets). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 10 (2) : pp. 139-148.
- <http://ripietcsa.sciencesconf.org/1582>, consulté le 07-04-2013 à 15 h 20 mm.
- <http://jardinons.wordpress.com/2012/12/18/lagroforesterie-est-productive-et-resiliente/>, consulté le 12.05.2013 à 20 h 02 mn.

ANNEXES



Villes et agglomérations

Les symboles jaunes représentent les capitales de pays. Les symboles rouges représentent les capitales d'Etat, de provinces ou d'autres divisions administratives. Les symboles blancs représentent les chef-lieux de comités ou de divisions administratives secondaires

- ■ ■ ■ Pop. 1 000 000+
- ● ● ● Pop. 500 000 à 499 000
- ○ ○ ○ Pop. 20 000 à 99 000
- □ □ □ Pop. 5 000 à 19 000
- □ □ □ Pop. 1 à 4 999
- ○ ○ ○ Autre lieu habité
- Agglomération
- Limites urbaines
- SOHO Subdivision d'une agglomération

0 km 100 200



(Source : ENCARTA, 2008)

Figure 1 : Localisation des sites d'étude sur la carte du Burkina Faso

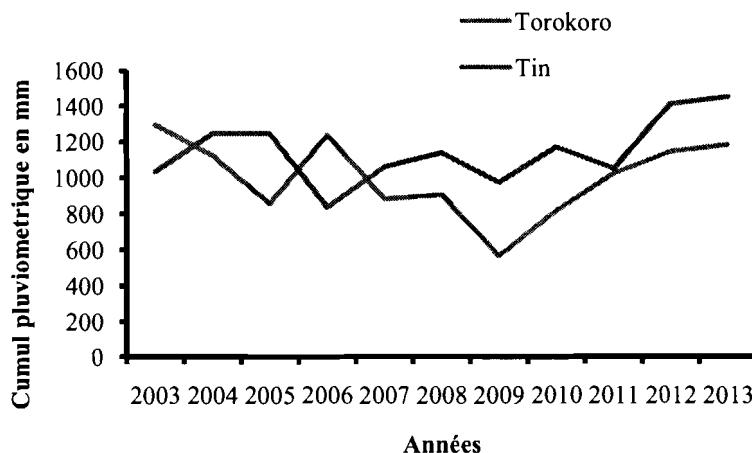


Figure 2 : Pluviométrie des dix dernières années des deux sites.

Comparaison des moyennes des cumuls C-CO₂ dégagés

Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les groupes avec un intervalle de confiance à 95,00 % :

Torokoro

Modalités	Différence	Différence réduite	Valeur critique	Pr. > Diff	Significatif
a ~ c	12,467	5,228	2,497	< 0,0001	Oui
a ~ b	7,651	3,209	2,064	0,004	Oui
b ~ c	4,816	2,020	2,064	0,055	Non

Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les groupes avec un intervalle de confiance à 95,00 % :

Tin

Modalités	Différence	Différence réduite	Valeur critique	Pr. > Diff	Significatif
a ~ c	28,844	2,600	2,497	0,040	Oui
a ~ b	21,193	1,910	2,064	0,068	Non
b ~ c	7,651	0,690			Non

Comparaison des moyennes des biomasses microbiennes

Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les groupes avec un intervalle de confiance à 95,00 % :

Torokoro

Modalités	Différence	Différence réduite	Valeur critique	Pr. > Diff	Significatif
a ~ c	14,111	0,310	2,497	0,949	Non
a ~ b	9,667	0,212			Non
b ~ c	4,444	0,098			Non

Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les groupes avec un intervalle de confiance à 95,00 % :

Tin

Modalités	Différence	Différence réduite	Valeur critique	Pr. > Diff	Significatif
a ~ b	26,531	1,923	2,497	0,154	Non
a ~ c	16,217	1,175			Non
c ~ b	10,314	0,748			Non

Comparaison des moyennes de la mycorhization du sol.

Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les groupes avec un intervalle de confiance à 95,00 % :

Torokoro

Modalités	Différence	Différence réduite	Valeur critique	Pr. > Diff	Significatif
a ~ c	14,111	0,310	2,497	0,949	Non
a ~ b	9,667	0,212			Non
b ~ c	4,444	0,098			Non

Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les groupes avec un intervalle de confiance à 95,00 % :

Tin

Modalités	Différence	Différence réduite	Valeur critique	Pr. > Diff	Significatif
c ~ a	80,000	1,381	2,497	0,366	Non
c ~ b	25,778	0,445			Non
b ~ a	54,222	0,936	2,064	0,359	Non

Variation du C-CO₂ (mg.100⁻¹g), de la biomasse microbienne et du nombre de spores des endomycorhizes du sol sous culture de *Jatropha curcas* L.

		Paramètres biologiques des sols		
Sites	Traitements	Cumul C-CO ₂ sur 21 jrs (mg/100g)	Biomasse microbienne pour 100g sol	Nombre de spores pour 100g de sol
Torokoro	a	45.88 ^A ± 5.35	59.26 ^A ± 9.09	218.55 ^A ± 72.93
	b	38.23 ^B ± 4.71	50.02 ^B ± 8.58	208.88 ^A ± 111.40
	c	33.41 ^B ± 5.08	43.88 ^B ± 7.04	204.44 ^A ± 101.59
Tin	a	114.84 ^A ± 26.48	224.71 ^A ± 27.13	284.44 ^A ± 113.42
	b	93.64 ^{AB} ± 22.37	198.18 ^A ± 39.19	338.67 ^A ± 119.71
	c	85.99 ^B ± 21.37	208.49 ^A ± 17.23	364.44 ^A ± 134.61

NB : Dans la même colonne et pour un même site, les données portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% pour tout traitement. **a**, **b** et **c** correspondent respectivement aux distances 0 m, 1 m et 2 m.