

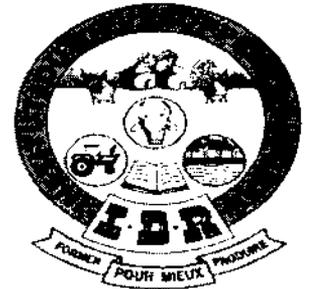
MINISTRE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE,
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
(M.E.S.S.R.S)

BURKINA FASO
Unité – Progrès – Justice

.....
UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE
BOBO-DIOULASSO (U.P.B)

.....
INSTITUT DU DEVELOPPEMENT
RURAL (I.D.R)

.....
DEA Gestion Intégrée des Ressources
Naturelles (GIRN)



MEMOIRE

Présenté par :

SANGARE Sheick Ahmed Khalil S.B.

Pour l'obtention du :

**Diplôme d'Etudes Approfondies en Gestion Intégrée des
Ressources Naturelles**

Spécialité : Systèmes de production végétale

Option : Sciences des sols

Thème :

**La mycorhization contrôlée d'une essence forestière
exotique : conséquences sur la diversité fonctionnelle
de la microflore endémique d'un Lixisol ferrugineux du
Burkina Faso.**

Soutenu le 27 Mars 2007, devant le Jury composé de

Président :

Prof. Michel P. SEDOGO, Directeur de Recherche, CNRST / INERA

Membres :

Prof. Victor HIEN, Directeur de Recherche, CNRST / INERA

Dr. Assimi SALAWU, Chargé de Recherche, CNRST / INERA

DEE - C

177

503

*A ma famille,
Pour tous les
sacrifices consentis à
mon égard*



Que le Seigneur veille toujours sur elle !

TABLE DE MATIERES

REMERCIEMENTS.....	iv
RESUME.....	vi
ABSTRACT.....	vii
SIGLES ET ABBREVIATIONS.....	viii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES PHOTOS.....	x
LISTE DES CARTES	x
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
1.1 Gestion de la fertilité des sols dans les agrosystèmes du Burkina Faso.....	4
1.1.1. La pratique de la jachère.....	4
1.1.2. La fertilisation organique	5
1.1.3. L'agroforesterie	6
1.1.3.1. Généralités sur l'agroforesterie	6
1.1.3.2. Le cas de <i>Acacia holosericea</i>	7
1.2. La symbiose mycorhizienne.....	11
1.2.1. Définition et concepts.....	11
1.2.2. Typologie des associations mycorhiziennes.....	11
1.2.2.1. Les ectomycorhizes	11
1.2.2.2. Les endomycorhizes.....	12
1.2.2.3. Les ectendomycorhizes	12
1.2.3. Les bénéfices de la symbiose mycorhizienne.....	13
1.2.3.1. Les bénéfices pour la plante hôte	13
1.2.3.2. Les bénéfices pour le champignon	15
1.2.3.3. Les répercussions agro-écologiques	16
1.2.4. Interactions microbiennes dans le sol.....	17
1.2.5. Facteurs affectant la mycorhization.....	18
1.2.5.1. Les paramètres édaphiques	18
1.2.5.2. Les pratiques culturales	19
1.2.5.3. Les facteurs de dégradation des sols.....	19
1.2.6. Le cas de <i>Glomus intraradices</i> Schenck et Smith.....	20

1.2.6.1. Taxonomie	20
1.2.6.2. Brève description de <i>Glomus intraradices</i> Schenck et Smith	20
1.2.6.3. Cycle de développement de <i>Glomus intraradices</i> Schenck et Smith	21
1.3. Eléments de mycorhization contrôlée	22
1.3.1. Définition, Objectifs et Principe de la mycorhization contrôlée	22
1.3.2. Procédés de mycorhization contrôlée	22
1.3.2.1. La production d'inoculum	22
1.3.2.2. L'inoculation	23
CHAPITRE II : PRESENTATION DU SITE D'ETUDE.....	24
2.1. Situation géographique	24
2.2. Climat	24
2.3. Géologie, Géomorphologie et Hydrographie	26
2.4. Monographie des sols	26
2.5. Végétation.....	27
CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES.....	28
3.1. Matériel	28
3.1.1. Production de l'inoculum fongique	28
3.1.2. Préparation du matériel végétal	28
3.1.3. Description du dispositif expérimental.....	29
3. 2. Méthodes	30
3.2.1. Les prélèvements de sols	30
3.2.2. Etude de la dynamique de la végétation herbacée.....	31
3.2.2.1. Relevé linéaire de la végétation herbacée.....	31
3.2.2.2. Expression des résultats	31
3.2.2.3. Estimation de la biomasse sèche épigée herbacée.....	32
3.2.3. Mesures des paramètres dendrométriques.....	32
3.2.4. Analyse du Profil de Réponse Catabolique (CRP).....	33
3.2.4.1. Principe de la méthode.....	33
3.2.4.2. Collecte des données	33
3.2.4.3. Expression des résultats	33
3.2.5. Paramètres chimiques.....	34
3.2.6. Analyses statistiques.....	34

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS	35
4.1. Résultats	35
4.1.1. <i>Impact de la mycorhization sur le développement de A. holosericea</i>	35
4.1.1.1. <i>Effet de la mycorhization sur le développement des plantules</i>	35
4.1.1.2. <i>Effet de la mycorhization sur le développement des plantes in situ</i>	36
4.1.2. <i>Impact des traitements sur la diversité floristique herbacée</i>	37
4.1.2.1. <i>Effet des traitements sur la structure et la diversité des herbacées</i>	37
4.1.2.2. <i>Effets sur la production de biomasse épigée herbacée</i>	38
4.1.3. <i>Impact de la mycorhization sur les paramètres chimiques du sol</i>	39
4.1.3.1. <i>Effet de A. holosericea seul sur les paramètres chimiques du sol.....</i>	39
4.1.3.2. <i>Effet des traitements sur les paramètres chimiques du sol.....</i>	40
4.1.3.3. <i>Effet de la position par rapport à A. holosericea sur les paramètres chimiques du sol</i>	41
4.1.4. <i>Analyse du Profil de Diversité Catabolique (CRP).....</i>	43
4.1.4.1. <i>Effet de A. Holosericea seul</i>	43
4.1.4.2. <i>Effet de la mycorhization sur les quantités de CO₂ dégagé par groupe de substrats</i>	44
4.1.4.3. <i>Effet de la mycorhization sur la diversité fonctionnelle des sols</i>	47
4.1.4.4. <i>Effet de la position par rapport au tronc de A. holosericea sur la réponse catabolique du sol.....</i>	48
4.1.5. <i>Relation entre profil catabolique et paramètres chimiques du sol.....</i>	50
4.2. Discussion	51
4.2.1. <i>Effet de G. intraradices sur le taux de survie, le développement et la production de matière sèche (MS) épigée chez A. holosericea</i>	51
4.2.2. <i>Effet sur la dynamique des herbacées</i>	53
4.2.3. <i>Effet de A. holosericea et de G. intraradices sur les paramètres chimiques du sol</i>	54
4.2.4. <i>Analyse de la diversité fonctionnelle des sols.....</i>	56
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	59
BIBLIOGRAPHIE.....	61

REMERCIEMENTS

Ce mémoire est le fruit d'une formidable collaboration entre l'Institut de l'Environnement et de la Recherche Agricole (INERA) et l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) à travers le laboratoire Sol-Eau-Plante (SEP) et le Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes (LSTM). Ces lignes nous donnent l'opportunité de témoigner notre reconnaissance aux nombreuses personnes dont la somme des efforts a permis la réalisation de cette étude.

C'est l'occasion pour nous d'exprimer notre gratitude à l'endroit des responsables des deux institutions, le Dr Jérémie OUEDRAOGO et Mr Jean Pierre GUENGANT, respectivement chef du Centre de Recherches Environnemental, Agricole et de Formation (CREAF) de Kamboinsé et Représentant de l'IRD Burkina, pour avoir consenti à ce que leurs structures servent de cadre à la réalisation de ce travail de DEA.

Nos remerciements vont particulièrement aux Dr Victor HIEN, Robin DUPONNOIS et Ablassé BILGO qui ont initié ce travail et qui, malgré leurs multiples occupations, se sont fortement investis afin que nous puissions le conduire à bout.

Qu'il nous soit permis d'adresser nos remerciements au personnel des deux laboratoires pour l'esprit de collaboration dont ils ont fait montre, ainsi que pour les aides et les précieux conseils dont nous avons bénéficiés de leur part. Ce sont :

- Dr Michel P. SEDOGO, Dr François LOMPO, Dr Zacharie SEGDA, Dr Moussa BONZI, Dr Paul SAWADOGO, Messieurs Zacharia GNANKAMBARY, Noufou OUANDAOGO, Martin RAMDE, Jean Paul KABORE, Adama BANDAOGO, Innocent KIBA, Yvonne C. SANOU, Alice NARE, Désiré LOMPO, pour le laboratoire Sol-Eau-Plante de l'INERA Kamboinsé ;

- Dr Dominique MASSE, Dr Michel LEPAGE, Dr Edmond HIEN, Théodore KABORE, Sékou SY, Moussa BARRY, Pascal ZAN, Prosper SAVADOGO, Sibiri SIRI et Amadou COULIBALY pour le laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes (LSTM) de l'IRD.

Qu'il nous soit également permis d'associer à ces remerciements nos nombreux parents et amis : les Familles SANKARA, SANA, ILBOUDO et OUILLI, Mathilde OUEDRAOGO, Leaticia ZIZIEN, Issa OUEDRAOGO, Farid TRAORE, Camille COMPAORE, Josué KONFE, Anatole MINOUNGOU, S.A.Karim BOUDA, Norbert DJIGUEMDE, Gédéon RAPADAMNABA, Saïdou SORE, Yves et Camille BELEMSEBGO,

Franck IDO, Olivier ILBOUDO, Edmond OUEDRAOGO, Hamadou B. TALL, Oswald OUEDRAOGO et Adama BOUDA pour leurs soutiens multiformes.

Nous adressons des remerciements particuliers à notre co-stagiaire Prosper DABIRE, à Faustin KAMBIRE, au Dr Robert ZOUGMORE, à Mme Léocadie PODA, à Somé Frédéric, à Robert NIKIEMA et à Joël OUEDRAOGO pour leur participation et leur inestimable contribution à la réalisation et à la finalisation du présent mémoire.

Que tous les enseignants du DEA/GIRN, nos autres camarades de la promotion (Claude TIEMTORE ; Hugues SOME ; Amadou DIALLO ; Omar SIRIMA ; Jean de Dieu YANRA ; Seydou SAWADOGO ; Bégué DAO) et tous ceux très nombreux dont les noms n'ont pu être cités, puissent trouver dans ces lignes l'expression de notre profonde reconnaissance.

Nous nourrissons l'espoir que ce mémoire reflète fidèlement les efforts qu'ils ont déployés pour permettre sa réalisation ! Puisse le seigneur le leur rendre au centuple.

RESUME

Une étude portant sur l'évaluation des impacts de la symbiose mycorhizienne (avec le champignon endomycorhizien *G. intraradices*) sur le développement de *A. holosericea* et sur la microflore endémique du sol a été conduite à la station de recherche agricole de l'INERA à Kamboinsé, située à 12 km au Nord de la ville de Ouagadougou. Le site d'étude appartient à la zone phytogéographique Nord-soudanienne du Burkina Faso, compris entre 12°28 de latitude Nord et 1°32 de longitude Ouest, avec une altitude d'environ 296 m.

L'étude a été conduite avec pour support un bloc simple comportant 3 traitements organisés selon les modalités suivantes : un traitement **témoin** portant *A. holosericea* sans apports de fertilisants et sans mycorhization contrôlée ; un traitement **fertilisé** portant des plants de *A. holosericea* amendés avec de l'engrais composé NPK et un traitement **mycorhizé** dans lequel les plants de *A. holosericea* ont été préalablement inoculés avec *G. intraradices*. Les paramètres mesurés sont : la diversité des herbacées et la production de biomasse sèche, les paramètres dendrométriques de *A. holosericea*, les caractéristiques chimiques des sols ainsi que la détermination du Profil de Réponse Catabolique (CRP).

Les résultats de cette étude montrent que le recours à la mycorhization contrôlée permet d'élever significativement le taux de survie (+ 67 %), la croissance (+ 32 %) et la production de matière sèche (4 fois) chez *A. holosericea* mycorhizé par rapport à la même espèce non mycorhizées. Les résultats ont par ailleurs permis de se rendre compte que l'inoculation avec *G. intraradices* en milieu naturel n'a pas un impact significatif sur la diversité floristique herbacée, contrairement aux résultats obtenu en milieu contrôlé par certains auteurs. En outre, l'étude a permis de montrer le rôle déterminant de la mycorhization dans le recyclage des éléments nutritifs sous *A. holosericea* et corrélativement dans l'amélioration de la fertilité du sol en carbone (+ 15 %) et en azote (+ 22 %). Les résultats ont enfin prouvé que l'introduction de *G. intraradices* engendre des modifications de la diversité fonctionnelle dans le sol. Les effets obtenus avec *G. intraradices* sont statistiquement similaires à ceux enregistrés en apportant directement de l'engrais composé (NPK) aux plantes.

Mots clés : Mycorhization contrôlée, *Acacia holosericea*, *Glomus intraradices*, Profil de Réponse Catabolique, Diversité Fonctionnelle, Agrosystèmes.

ABSTRACT

A study on the assessment of mycorrhizal symbiosis impacts (with the endomycorrhizal fungus *G. intraradices*) on the development of *A. holosericea* and soil endemic microflora has been carried out at INERA agricultural research station in Kamboinsé located at 12 km in the North of Ouagadougou site. The study site belongs to the North-Soudanian phytogeographical zone of Burkina and is 12°28 North latitude and 1°32 of West longitude, with an altitude of about 296 m.

The study has been carried out with single a block as support including 3 treatments organized according to the following modes: a control treatment with *A. holosericea* without fertilization and controlled mycorrhization; a fertilized treatment with *A. holosericea* plants amended with NPK and a mycorrhized treatment in which *A. holosericea* plants have been previously inoculated with *G. intraradices*. The measured parameters are: herbaceous diversity and dry biomass production, the dendrometrical parameters of *A. holosericea*, soils chemical features as well as Catabolic Response Profile (CRP) determination.

The results of this study show that the recourse to the controlled mycorrhization allows to raise significantly the survival rate (+ 67%), the growth (+ 32%) and dry matter production (x 4) with mycorrhized *A. holosericea* in relation to the non mycorrhized same species. Otherwise, the results permitted to realize that inoculation with *G. intraradices* in natural habitat doesn't have a significant effect on the herbaceous flora diversity, contrary to results obtained in controlled area by some authors. The study permitted beside to show the determining role of mycorrhization in nutrients recycling under *A. holosericea* and correlatively in the improvement of soil fertility with carbon (+ 15%) and nitrogen (+ 22%). The results finally proved that the introduction of *G. intraradices* generates modifications of soil functional diversity. The effects obtained with *G. intraradices* are statistically similar to those recorded while supplying directly the composed fertilizer (NPK) to plants.

Key words: Controlled Mycorrhization, *Acacia holosericea*, *Glomus intraradices*, Catabolic Response profiles, Functional Diversity, Agrosystems.

SIGLES ET ABBREVIATIONS

Aa	: Acides aminés
Ac	: Acides carboxyliques
Am	: Amides
C	: Carbone
CRP	: Catabolic Response Profile
CSi	: Contribution Spécifique
CT 130	: Circonférence du tronc à 130 cm
CT<30cm	: Circonférence du tronc à 30 cm
DH	: Diamètre du houppier
DT 130	: Diamètre du tronc à 130 cm
DT<30cm	: Diamètre du tronc à 30 cm
FSiM	: Fréquence Spécifique Moyenne
Hc	: Hydrates de carbone
IDR	: Institut de Développement Rural
INERA	: Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
IRD	: Institut de Recherche pour le Développement
K	: Potassium
LSTM	: Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes
MO	: Matière Organique
N	: Azote
NPK	: Engrais composé Azote + Phosphore + Potassium
P	: Phosphore
pH	: Potentiel Hydrogène
RSM	: Richesse Spécifique Moyenne
SEP	: Sol-Eau-Plantes

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Effet de la mycorhization sur le développement de <i>A. holosericea</i> après 4 mois de culture en serre	365
Tableau 2 : Effet des traitements sur les paramètres dendrométriques de <i>A. holosericea</i>	36
Tableau 3 : Effet des traitements sur les indices de richesse et de diversité écologique de la végétation herbacée	37
Tableau 4 : Effet de <i>A. holosericea</i> seul sur les paramètres chimiques des sols	39
Tableau 5 : Effet des traitements sur les caractéristiques chimiques du sol	40
Tableau 6 : Effet de la distance par rapport à <i>A. holosericea</i> sur les paramètres chimiques du sol	42
Tableau 7 : Impact de <i>A. holosericea</i> sur le profil de diversité catabolique du sol	44
Tableau 8 : Analyse des indices de diversité, de la richesse catabolique et du cumul de CO ₂ en fonction des traitements	48
Tableau 9 : Réponse catabolique du sol suivant la position par rapport au tronc de <i>A. holosericea</i>	49
Tableau 10 : Coefficient de corrélation de Pearson indiquant les relations existant entre le C, N, P et les données du profil catabolique au seuil de 5 %	50

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Cycle de développement et mode de survie in vitro de <i>Glomus</i>	21
Figure 2 : Caractéristiques pluviométriques de la station de Kamboinsé : a) cumuls pluviométriques annuels de 1981 à 2001 ; b) pluviométrie mensuelle de 2002 à 2005 ...	25
Figure 3 : Dispositif expérimental	29
Figure 4 : Protocole d'échantillonnage des sols : a) au niveau de la parcelle ; b) au niveau de chaque arbre individuel	30
Figure 5 : Production de biomasse sèche épigée herbacée, a) en fonction des traitements et b) en fonction de la distance par rapport à l'arbre.	39
Figure 6 : Dégagement moyen de CO ₂ par groupe de substrat et par traitement	43
Figure 7 : Comparaison du dégagement moyen de CO ₂ par groupe de substrat et par traitement	45
Figure 8 : Réponse catabolique des sols par suite de l'addition des substrats individuels	46

LISTE DES PHOTOS

Planche 1 : <i>Acacia holosericea</i> A. Cunn ex G. Don.....	10
Planche 2 : <i>Glomus intraradices</i> Schenck et Smith.....	20

LISTE DES CARTES

Carte 1 : Localisation du site d'étude.....	24
--	----

INTRODUCTION

Au Burkina Faso, la récurrence des déficits pluviométriques et la pression démographique accrue sur les ressources naturelles provoquent l'élimination conséquente des formations végétales spontanées (PONTANIER *et al.*, 1995). La surexploitation des terres cultivées et des zones boisées, ajoutées au surpâturage et à la diminution voire la suppression de la jachère, concourent synergiquement à une dégradation spectaculaire des terres cultivées à des proportions inquiétantes dans certaines zones du pays (KAMBOU et ZOUGMORE, 1995). La disparition de la couverture végétale s'accompagne de la perte concomitante de la fertilité physico-chimique et biologique des sols (PIERI, 1989) ; avec pour corollaire une baisse quasi générale de la productivité des agrosystèmes (HIEN, 1995).

Dans ce contexte de baisse croissante de la fertilité des terres cultivées et des productions agricoles, la mise au point de systèmes d'utilisation des terres aptes à préserver les écosystèmes est devenue impérieuse (SOME *et al.*, 2004). Ainsi, face aux enjeux liés à la difficulté de réaliser l'autosuffisance alimentaire, de nombreuses mesures physiques et biologiques de conservation et de restauration des sols ont été initiées très tôt au Burkina Faso.

Les mesures biologiques sont de plus en plus orientées vers l'introduction d'espèces améliorantes et / ou exotiques afin de permettre le retour rapide de la fertilité des sols (GUISSOU, 1994 ; SEGDA *et al.*, 1996 ; BILGO *et al.*, 2006). Les études ont montré que l'utilisation de la symbiose mycorhizienne pouvait contribuer efficacement à la réussite de telles pratiques. Cette symbiose revêt en effet, de nombreuses propriétés dont l'amélioration de la stabilité structurale (RILLIG et MUMMEY, 2006), des propriétés chimiques et biologiques (JOHANSON *et al.*, 2004 ; VESTBERGE *et al.*, 2006) du sol, ainsi que la promotion de la croissance des plantes (DUPONNOIS et PLENCHETTE, 2003). Du fait de ces propriétés, des recherches ont été développées dans le but de maîtriser ce processus symbiotique afin de le valoriser dans des opérations de réhabilitation des terres dégradées. Certaines de ces approches consistent à provoquer la symbiose entre une plante et un symbiote fongique performant, sélectionné pour un objectif préalablement défini comme par exemple son influence sur la croissance de la plante. L'ensemble des procédés scientifiques et techniques utilisés pour y parvenir est regroupé sous le terme de « mycorhization contrôlée » (GARBAYE, 1991 ; BOUCHARD *et al.*, 1997).

Les essais de mycorhization contrôlée *in situ* visant à démontrer l'effet bénéfique de cette pratique culturale ont été plus particulièrement réalisés dans les régions tempérées (LE TACON *et al.*, 1982). Les références concernant la mycorhization contrôlée sont par contre

relativement peu nombreuses en milieu tropical. Elles concernent surtout l'étude de l'impact de ce type d'inoculation microbienne sur le développement d'essences forestières telles que les acacia africains (CORNET et DIEM, 1982 ; BA et *al.*, 1999) et australiens (GUISSEU, 1994 ; DUPONNOIS et *al.*, 2005a) ainsi que certains arbres fruitiers (BA et *al.*, 2001). Certaines études ont pourtant parfaitement démontré que la symbiose mycorhizienne joue un rôle clef dans les processus régissant le biofonctionnement du sol (GILLER et *al.*, 1997). En effet, l'établissement de cette symbiose engendre des modifications significatives de la structure et des capacités fonctionnelles de la microflore tellurique ; avec des répercussions importantes sur l'évolution de la fertilité du sol et du couvert végétal (VAN DER HEIJDEN et *al.*, 1998 ; VESTBERGE et *al.*, 2005).

Les conséquences au plan environnemental de tels changements sont à l'heure actuelle largement inconnues au Burkina Faso. Par conséquent, la maîtrise de la symbiose mycorhizienne et la compréhension des mécanismes impliqués dans ses interactions avec la composante biologique du sol doivent être de première importance dans les opérations de réhabilitation des écosystèmes du Burkina Faso. C'est ce cadre que l'INERA a initié conjointement avec l'IRD Ouagadougou un projet dénommé CORUS dont l'objectif principal est de contribuer à la « *Maîtrise de la symbiose mycorhizienne en vue de l'amélioration de la fertilité des sols dans les agrosystèmes du Burkina Faso* ».

La présente étude dont le thème est « ***La mycorhization contrôlée d'une essence forestière exotique : conséquences sur la diversité fonctionnelle de la microflore endémique d'un Lixisol ferrugineux du Burkina Faso*** » est une contribution à l'évaluation des impacts de l'introduction d'une essence forestière et d'une souche fongique exotiques sur l'activité microbienne et la structure de la microflore tellurique.

La recherche a été élaborée autour de l'hypothèse selon laquelle : « *L'introduction d'essences forestières exotiques, de même que la mycorhization contrôlée engendrent de profondes modifications dans la structure et les attributs fonctionnels des communautés microbiennes du sol. Ces changements auront des répercussions dans l'évolution des écosystèmes naturels tant au niveau de leur productivité que de leur diversité* ».

L'étude a poursuivi les cinq objectifs spécifiques suivants :

1. étudier la dynamique du couvert herbacé sous l'influence de l'essence forestière exotique (*A. holosericea*) et de la mycorhization (*G. intraradices*) ;
2. déterminer les capacités cataboliques de la microflore tellurique influencée ou non par *A. holosericea* ;

Chapitre I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Gestion de la fertilité des sols dans les agrosystèmes du Burkina Faso

Nous proposons dans cette partie d'analyser quelques pratiques de gestion de la fertilité des sols dans les agrosystèmes du Burkina Faso, en nous focalisant sur celles favorisant la reconstitution des stocks de matières organiques (MO). Ce choix est motivé par la déficience en matière organique inhérente à la majorité des sols tropicaux ; et par l'importance que revêt cette matière organique dans le maintien durable de la fertilité des sols.

1.1.1. La pratique de la jachère

La gestion traditionnelle de la fertilité des sols dans les agrosystèmes du Burkina était jadis basée sur l'alternance de phases de cultures de courte durée (3 à 6 ans) et de longues phases de jachères, de durée généralement supérieure à 15 ans. Ces périodes d'abandons temporaires des parcelles cultivées permettaient la remontée des potentiels agronomiques et écologiques du milieu (FLORET et *al.*, 1993). Les études portant sur l'évaluation de la capacité de restauration des sols dégradés par la mise en jachère indiquent effectivement une corrélation positive entre l'âge de la mise en jachère et le niveau de fertilité du sol (ROOSE, 1991). Les jachères de longue durée favorisent le recouvrement suffisant de la fertilité physique ; chimique et biologique des sols à travers la reconstitution d'un stock de matière organique, principalement grâce au couvert végétal (SERPANTIE et OUATTARA, 2001).

La pérennité de cette pratique était garantie par la grande disponibilité en terre. Elle est de nos jours largement remise en cause du fait de la forte pression démographique, de l'extension des fronts de cultures de rente et d'une désorganisation dans les modes de gestion des ressources naturelles (SOME ; 1996). Tous ces facteurs ne permettent plus le maintien des jachères durant de longues périodes. De ce fait, les phases de jachères se sont considérablement raccourcies et tendent même à disparaître dans certaines zones. Cette crise de la jachère de longue durée a des répercussions négatives importantes sur la fertilité des sols dans les agrosystèmes.

Toutefois, de nombreuses alternatives à la disparition de la jachère de longue durée sont proposées. Elles concernent notamment l'introduction dans les jachères de courtes durées, d'espèces améliorantes susceptibles d'accélérer le recouvrement de la capacité productive du sol. Ainsi, l'introduction de légumineuses et de graminées pérennes à forte production de biomasse est envisagée et semble produire des résultats appréciables. En effet, les études portant sur l'utilisation de *Mucuna cocheninchinensis* (SEGDA et *al.*, 1996) ;

3. évaluer l'impact de la mycorhization contrôlée sur la croissance de l'essence exotique (*A. holosericea*) en comparant des arbres mycorhizés ou fertilisés à des témoins (non inoculés et non fertilisés) ;
4. établir les profils de réponses cataboliques des communautés microbiennes associées aux arbres mycorhizés ou non mycorhizés ;
5. vérifier l'impact de ces modifications sur les propriétés chimiques du sol.

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres :

- le premier chapitre est consacré à la synthèse bibliographique ;
- le second présente le site qui a servi de cadre à l'étude ;
- le troisième aborde le matériel et les méthodes utilisés ;
- et le quatrième expose les résultats obtenus.

Crotalaria retusa (ZOUGMORE, 1999) ; *Stylosanthes hamata* (YOSSI et al., 2000) et *Andropogon gayanus* (BILGO et al., 2006), dans le but de favoriser le retour rapide de la fertilité dans les sols des jachères de courte durée, ont traduit dans leur ensemble un impact positif sur le niveau de carbone et d'azote totaux des sols.

1.1.2. La fertilisation organique

Au Burkina Faso, la fertilisation organique dans les agrosystèmes se fait sous la forme d'apports de matières organiques issues principalement des résidus culturaux et des déjections animales. La matière organique a un rôle crucial dans la fertilité des sols tropicaux (MUSTIN, 1987) et en particulier ceux du Burkina Faso. Elle est le paramètre fondamental de la fertilité chimique à long et à court terme. A long terme, elle constitue une véritable réserve d'éléments nutritifs. A court terme, elle est la source quasi exclusive du flux de nutriments qui contraint le développement des plantes (NACRO, 1997). En raison également de la faible teneur en argiles et de la capacité d'échange limitée des sols tropicaux, la matière organique contrôle fortement les caractéristiques de la fertilité physique et biologique du sol (FELLER et al., 1991 ; VAN DER KRIFT et al., 2001).

Les travaux de SEDOGO (1981 ; 1993) ; OUATTARA (1990) ; GANRY et al. (2001) et MANLAY et al. (2002), font état d'une élévation significative des rendements des cultures suite à l'apport de diverses sources de matières organiques dans les parcelles cultivées. Cette incidence de la matière organique sur les performances des cultures est attribuée à l'amélioration des propriétés physico-chimiques et biologiques du sol qu'elle engendre (MUSTIN, 1987 ; PIERI, 1989). Les études ont aussi montré que les rendements varient significativement en fonction de la source et de la richesse en éléments nutritifs de la matière organique apportée (paille, fumier, compost, etc.). Mais de façon générale, SEDOGO (1981) estime que les matières organiques de la zone tropicale sont relativement pauvres en éléments nutritifs. On note à cet effet, que l'impact sur les rendements est significativement accru lorsque la fertilisation organique est suppléée par une fertilisation minérale.

Malheureusement, les ressources organiques des terroirs de l'Afrique tropicale diminuent inexorablement (PIERI, 1989). Les flux de matières organiques dans les agrosystèmes sont en effet fortement tributaires des modes de gestion des résidus de récolte, des excréta animaux et des retombées de litières. Le plus souvent ces matières organiques connaissent d'autres destinations, de sorte que seule une infime partie retourne dans les parcelles cultivées, d'où la nécessité de trouver des sources alternatives.

1.1.3. L'agroforesterie

1.1.3.1. Généralités sur l'agroforesterie

- Définition et objectif de l'agroforesterie

L'agroforesterie désigne un système d'utilisation des terres, où des plantes ligneuses sont délibérément associées aux cultures et/ou à la production animale, sous la forme d'un arrangement spatial ou d'une séquence temporelle prenant place sur une même unité de gestion de la terre (BAUMER, 1987). Elle permet d'optimiser les interactions positives entre les composantes de façon à obtenir une production totale plus élevée, diversifiée et soutenue. Dans le contexte actuel caractérisé par une extrême pauvreté des sols et une faible disponibilité des ressources organiques, l'agroforesterie pourrait constituer un mode alternatif de gestion durable de la fertilité des sols dans les agrosystèmes tropicaux.

- Rôle des arbres dans la fertilité des sols des systèmes agroforestiers

L'abondance de bibliographie sur l'augmentation des rendements des cultures dans les systèmes agroforestiers (PALM, 1995 ; BREMAN et KESSLER, 1997 ; KANG, 1997), illustre l'impact positif des ligneux sur la fertilité des sols. La présence de l'arbre est primordiale, en ce sens qu'il favorise les transferts verticaux d'éléments nutritifs. En effet, les ligneux représentent une concentration de biomasse à la fois aérienne et souterraine par unité de surface. Ainsi, par le biais des retombées de litière, les arbres contribuent à rehausser le stock de matière organique et à alimenter le pool des éléments nutritifs dans le sol (BREMAN et KESSLER, 1995 ; BURESH et TIAN, 1998). Les éléments nutritifs prélevés en profondeur par les racines pour l'élaboration de la biomasse végétale sont restaurés en surface après la décomposition des retombées de litières par les microorganismes (BILGO, 2005). Les travaux de BAYALA et al. (2004) ont par exemple montré que la décomposition des feuilles de *Vitellaria paradoxa* et de *Parkia biglobosa* permet de libérer dans le sol 40 à 90 % du N et du P contenus dans les feuilles. Les ligneux à croissance rapide constituent donc un potentiel important dans la mesure où elles produisent très vite une grande quantité de biomasse.

Les légumineuses présentent un intérêt particulier du fait de leur capacité à fixer l'azote atmosphérique dans le sol. Les études ont prouvé que l'utilisation des légumineuses permet d'élever significativement le niveau d'azote dans le sol (BODDEY et al., 1996). Des résultats intéressants ont été obtenus dans les régions tropicales humides, notamment dans le cas des cultures en couloirs avec *L. leucocephala* (KANG, 1997). Les études effectuées au Burkina Faso sur la fertilité du sol en relation avec la présence dans les champs de ligneux fixateurs d'azote ont porté principalement sur *F. albida* (OLIVIER et al., 1992), *L.*

leucocephala, *A. africana* et *A. nilotica* (AYUK, 1997 ; BA et al., 1999). Les résultats obtenus révèlent un accroissement de la fertilité des sols.

L'introduction d'espèces exotiques est aussi envisagée au Burkina Faso. Ces espèces présentent généralement des caractéristiques intéressantes que les espèces locales n'ont pas. Parmi les espèces introduites figurent des espèces australiennes telles que *E. camaldulensis*, *A. mangium* et *A. holosericea*.

1.1.3.2. Le cas de *Acacia holosericea* - Généralités sur les *Acacia*

Le genre *Acacia* est très répandu dans le règne végétal avec près de 1200 espèces réparties sur tous les continents, à l'exception de l'Europe et de l'Antarctique (SIMMONS, 1981). Le nom *Acacia* dériverait du grec *akazein* (aiguiser), par allusion aux stipules épineuses de nombreuses espèces africaines et asiatiques (MASLIN et al., 2003). Les plus récentes tentatives de subdivision taxonomique situent le genre *Acacia* dans la famille des *Légumineuses* et la sous-famille des *Mimosoidae*. Selon PEDLEY (1986) elle comprend 3 sous-genres qui sont : les sous-genre *Aculeiferum* ; *Heterophyllum* (inclues les *phyllodineae*) et *Acacia*.

Les espèces appartenant au sous-genre *Acacia* ont des feuilles bipennées et des épines stipulaires. Les *Aculeiferum* ont des épines d'origine non stipulaire ou de simples aiguillons et sont des lianes ligneuses ou des arbres. Les espèces du sous-genre *Heterophyllum* sont souvent dépourvues d'épines et leurs feuilles sont modifiées en lames aplaties et allongées dénommées *phyllodes*. Le sous-genre *Acacia* est principalement africain, le sous-genre *Aculeiferum* est très répandu dans les zones tropicales ; tandis que la majorité des espèces australiennes appartiennent au sous-genre *Heterophyllum* (SIMMONS 1981).

- Origine et Taxonomie de *Acacia holosericea* A. Cunn ex G.Don

A. holosericea est une plante originaire d'Australie du Nord et introduite avec succès en Afrique de l'Ouest, où elle s'est révélée parfaitement adaptée aux conditions climatiques (DUPONNOIS et al., 2005b). C'est une légumineuse pérenne à phyllodes, appartenant au sous-genre *Heterophyllum* (MASLIN et al., 2003). Selon TURNBULL (1986), le nom de l'espèce dérive du Grec *Holo* (= entier) et du latin *Sericeus* (= soyeux et luisants, en référence aux feuilles).

Une récente réévaluation taxonomique, proposée par MASLIN et THOMSOM (1993) a permis de subdiviser l'ancien complexe *A. holosericea* décrit par PEDLEY (1978), en trois

sous-espèces : *A. holosericea* A. Cunn ex G. Don au sens strict (tétraploïde, $2n = 52$) ; *A. neurocarpa* A. Cunn. ex Hook (diploïde, $2n = 26$) et *A. colei* Maslin et L. Thompson (hexaploïde, $2n = 78$) hybride présumé de *A. neurocarpa* et *A. cowleana* (tétraploïde).

- Distribution et écologie

A. holosericea A. Cunn ex G. Don est une espèce très plastique qui s'adapte à une grande variété de conditions écologiques (DUPONNOIS et al., 2005a). Il se rencontre dans des milieux variés allant des zones fortement arrosées aux zones arides ou sub-arides. En Australie, l'aire de répartition de l'espèce s'étend de la partie septentrionale à la partie centrale (TURNBULL, 1986). Les études ont révélé que *A. holosericea* s'est bien établi en zone sahélienne du Sénégal, du Burkina Faso et en Afrique de l'Est (CORNET et al., 1982 ; BOLAND et TURNBULL, 1989 ; GUISSOU, 1994).

Les conditions météorologiques requises pour le développement optimum de l'espèce sont : une pluviosité annuelle comprise entre 500 et 1200 mm et des températures moyennes comprises entre 10 °C et 34 °C. *A. holosericea* ne tolère pas les sols alcalins ou soumis à une forte salinité. Une caractéristique intéressante de l'espèce est son aptitude à coloniser des sols pauvres en phosphore et en azote à cause de sa capacité à s'associer avec les champignons mycorhiziens et les bactéries fixatrices d'azote (*Rhizobium*).

- Biologie et description botanique

A. holosericea A. Cunn ex G. Don est un arbuste buissonnant sans épines de 2 à 7 m (rarement 12 m) de haut, à cime ouverte et arrondie, avec de nombreuses branches ascendantes prenant naissance parfois au niveau du sol. Il est aisément repérable de loin à cause de son feuillage argenté ou bleuté (planche I ; photo a). Son écorce est grisâtre et lisse et devient brun et fissuré sur les vieux arbres. Les rameaux sont blanchâtres, veloutés et deviennent parfois glabres et anguleux à trois cotés.

Les jeunes plants présentent des feuilles composées et bipennées typiques des Mimosacées. Ces feuilles se dessèchent et disparaissent au cours de la première année (2 à 3 mois). Elles sont relayées dans leurs fonctions par les pétioles qui se développent en organes semblables à des feuilles aplaties, appelés phyllodes. Les phyllodes ont une longueur de 10 à 25 cm sur 1,5 à 9,5 cm de large et possèdent généralement 3 nervures longitudinales proéminentes parcourant la face dorsale du limbe et se rejoignant au sommet. Les nervations secondaires sont moins visibles. Les phyllodes peuvent être oblongues, plus ou moins rectilignes ou arqués au sommet acuminé et mucroné. Ils sont habituellement recouverts de

poils fins, conférant au feuillage son apparence argentée attrayante. Le pétiole velouté porte souvent une très petite glande cratériforme près de la base (ARBONIER, 2000).

Les fleurs, de couleur jaune brillant, sont groupées en épis de formes cylindriques disposés en nombre de 2 ou 3 à la base des feuilles (planche I ; photo b). Les fleurs sont de petite taille et possèdent un pédoncule de 0,3 à 0,7 cm de long, tandis que les épis ont une longueur variant entre 3 et 6 cm. Les gousses sont plates, coriaces, irrégulièrement spiralées et torsadées, plus ou moins rétrécies entre les graines et mesurent 3 à 6 cm de long et 0,3 à 0,5 cm de large. Elles sont brunes et déhiscentes à maturité et contiennent 3 à 11 graines oblongues de couleur noir brillant et une taille comprise entre 3 à 5 mm de long sur 2 mm de large. Les graines possèdent un petit arille jaune vif à la base (planche I ; photo c).

L'espèce a une durée de vie moyenne de 10 ans et se propage principalement grâce à ses graines, avec une médiocre habilité à drageonner. Elle est sensible à la sécheresse et aux nématodes responsables de la formation de galles (DUPONNOIS *et al.*, 1997 ; DOMMERGUES *et al.*, 1999), mais résiste bien aux termites.

- Fonctions et usages de *Acacia holosericea*

A. holosericea est un arbre à fonctions et usages multiples. C'est une légumineuse à croissance rapide (la majorité des *Acacia* africains sont à croissance relativement lente) parfaitement adaptée aux sols tropicaux pauvres en éléments nutritifs en occurrence en P et N. Elle possède en effet, la capacité de fixer l'azote atmosphérique dans le sol grâce à son association symbiotique avec les bactéries fixatrices d'azote (*Rhizobium*). Toutes ces caractéristiques font d'elle une espèce beaucoup utilisée dans l'agroforesterie, la restauration des sols dégradés, la fixation des dunes et la fertilisation de jachères améliorées. FALL *et al.* (2002) ont montré qu'elle peut être employée dans la partie inférieure des brise-vents multi-étagés à cause de ses nombreuses branches inextricables. Les études de TILANDER (1996) ont montré que les feuilles de *A. holosericea* se comportent assez bien comme matériau pour le paillage des sols cultivés.

De nombreux *Acacia* africains (à l'exception de *A. albida*) tendent à perdre leurs feuilles durant la saison sèche, au contraire de *A. holosericea* dont le feuillage persiste durant toute l'année. Ainsi, malgré la digestibilité médiocre des phyllodes due à la présence élevée de tanins, sa forte production foliaire confère à cette espèce un intérêt fourrager non négligeable, surtout en périodes de sécheresse (THOMSON *et al.*, 1993 cités par GUISSOU, 1994). GUISSOU (1994) souligne à cet effet qu'au Sénégal, les phyllodes séchées de *A. holosericea* sont bien appréciées par les bovins et les ovins.

Des études comparatives de provenances de *A. holosericea* au Burkina Faso ont montré que l'espèce possède une propension intéressante à la production de bois d'énergie. On estime à 870 kg/m³ la densité de bois produite par *A. holosericea*. Le bois possède de fortes potentialités énergétiques. Le C.T.F.T. (1983) cité par GUISSOU (1994) situe les valeurs calorifiques du bois et du charbon de bois de *A. holosericea* respectivement à 4,67 et 7,53 kcal/kg. Des écrits récents ont signalé l'utilisation des graines de *A. holosericea* dans l'alimentation humaine en Afrique et au proche Orient (HARWOOD et al., 1995). Il semble également que l'huile extraite des arilles des graines soit comestible (HARWOOD, 1994).



Photos Sangaré Sheick K.

Planche 1 : *A. holosericea* A. Cunn ex G. Don. ; a : pieds adulte ; b : inflorescence et phyllodes ; c : gousses et graines.

1.2. La symbiose mycorhizienne

1.2.1. Définition et concepts

Dans la nature, la majorité des végétaux terrestres vivent en association étroite avec certains champignons du sol (HODGE, 2000). Cette association qui s'élabore entre les racines des végétaux supérieurs et le mycélium des champignons telluriques, aboutit à la formation d'un organe mixte appelé mycorhize, du grec *mykês* pour champignon et *rhiza* pour racine.

Par le biais de la mycorhize, le végétal et le champignon contractent une association de type symbiotique à caractère mutualiste (KERNAGHAN, 2005). La mycorhize est en effet le siège d'un échange bidirectionnel de nutriments et d'énergie entre la plante et le champignon (PFEFFER *et al.*, 2001).

Exception faite de familles telles que les Brassicaceae, les Chenopodiaceae (épinard, betterave), les Crucifères (chou, colza) et les Cypéraceae (CARDOSO et KUYPER, 2006), la symbiose mycorhizienne apparaît comme une règle générale au sein du règne végétal. On estime en effet à près de 90 % la proportion des familles de plantes possédant des représentants capables de former cette association (HARLEY et SMITH, 1983).

1.2.2. Typologie des associations mycorhiziennes

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. Ces structures peuvent être classées sur la base de critères écologiques, morphologiques et physiologiques (BRUNDRETT, 2004).

SMITH et READ (1997) distinguent 7 types dont les ectomycorhizes, les endomycorhizes, les ectendomycorhizes, ainsi que les mycorhizes arbutoïdes, monotropoïdes, éricoïdes et orchidoïdes. Cependant, ceux-ci sont souvent regroupés en 3 types principaux que sont : les endomycorhizes, les ectomycorhizes et les ectendomycorhizes.

1.2.2.1. Les ectomycorhizes

Les ectomycorhizes sont associées à de nombreuses espèces ligneuses forestières. Les arbres qui contractent 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. Dans une ectomycorhize caractéristique, le champignon forme un manteau d'hyphes densément agglomérés autour de la radicelle, d'épaisseur variant entre 20 et 40 μm selon l'espèce fongique (BOULLARD,

1968). Ce manteau est relié à des hyphes fortement ramifiés qui prolifèrent tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la racine. A l'intérieur de la racine, les hyphes s'insinuent entre les cellules du cortex pour former le réseau de Hartig, sans pénétrer les cellules de l'hôte. Ce réseau est le siège privilégié des échanges entre les partenaires (DELL et *al.*, 1994). A l'extérieur de la racine, le mycélium se propage dans les interstices en prospectant un grand volume de sol.

1.2.2.2. Les endomycorhizes

Les endomycorhizes sont très répandues dans le monde végétal. Selon BRUNDRETT (2004), 90 à 95% des espèces tropicales (herbacées et ligneuses) sont à endomycorhizes. Cette symbiose est due, pour la plupart, à des champignons inférieurs qui sont souvent des symbiotes obligatoires (DOUDS ET MILLNER, 1999). Les endomycorhizes ne provoquent que des changements mineurs de la racine et ne sont pas décelables à l'œil nu. Leur observation nécessite un traitement préalable et une coloration des racines. Elles sont dépourvues de manteau fongique et de réseau de Hartig. Le mycélium du champignon peut pénétrer dans les cellules de l'hôte (HARRISSON, 1999).

La symbiose à arbuscules est la plus fréquente de cette catégorie. Elle fait intervenir des champignons de la classe des Glomeromycètes (SCHÜSSLER et *al.*, 2001) et est caractérisée par la formation de structures typiques (arbuscules) à l'intérieur des cellules corticales (HODGE, 2000). Les arbuscules permettent d'accroître la surface de contact entre les symbiotes et sont les principaux sites d'échanges (BEVER et *al.*, 2001). Certains champignons forment également des vésicules à l'intérieur, ou entre les cellules corticales. Les vésicules renferment d'abondants lipides et de nombreux noyaux et sont considérées comme les principaux organes de réserve du champignon (SMITH et READ, 1997).

Les mycorhizes éricoïdes et orchidoïdes sont des formes particulières d'endomycorhizes (STRAKER, 1996 ; KERNAGHAN, 2005). Elles sont classées par SJÖBERG (2005) comme des endomycorhizes à pelotons. Leurs hyphes investissent les cellules de l'hôte en formant un amas de mycélium dense et compact (pelotons).

1.2.2.3. Les ectendomycorhizes

Les ectendomycorhizes sont des formes d'associations intermédiaires. Elles dérivent d'une combinaison des caractères propres aux ectomycorhizes et aux endomycorhizes (coexistence d'un manteau fongique avec des hyphes qui pénètrent dans les cellules racinaires).

Les mycorhizes arbutoïdes et monotroïdes sont souvent classées dans ce type (MASSICOTTE et *al.*, 1993). Outre la présence du manteau fongique, le mycélium pénètre dans les cellules racinaires sous forme d'hyphes très courtes chez les mycorhizes monotroïdes (SMITH et READ, 1997). Les mycorhizes arbutoïdes forment un manteau d'environ 85 µm d'épaisseur semblable à celui des ectomycorhizes et le réseau de Hartig peut investir les cellules du cortex en formant des pelotons (PAUL et CLARK, 1996).

1.2.3. Les bénéfices de la symbiose mycorhizienne

La symbiose mycorhizienne est intimement régie par des échanges réciproques d'éléments nutritifs et d'énergie entre partenaires. Ces échanges ont été maintes fois évoqués dans les travaux antérieurs et sont actuellement confirmés par de nouvelles technologies que sont les études histochimiques et l'utilisation de nutriments marqués par des radio-isotopes.

1.2.3.1. Les bénéfices pour la plante hôte

- L'amélioration de la nutrition minérale

Une abondante littérature témoigne du rôle clef joué par les mycorhizes dans l'acquisition et l'utilisation du phosphore, de l'azote, du potassium (JACKSON et *al.*, 2001; MOHAMMAD et *al.*, 2004), ainsi que le cuivre et le zinc (KOIDE, 1991; THOMPSON, 1994) par les plantes. Le fer, le calcium, le manganèse et le magnésium sont également mentionnés (LIU et *al.*, 2002; TU et *al.*, 2005; GOSLING et *al.*, 2006). L'impact des mycorhizes est significatif dans les sols pauvres en éléments nutritifs (KLINGEMAN et *al.*, 2002).

Les nutriments sont prélevés par le champignon et transférés vers la plante hôte via la mycorhize. Des études ont permis de préciser les mécanismes de prélèvement et de transfert du phosphore (P) et de l'azote (N) par les champignons mycorhiziens. Les résultats montrent qu'ils sont favorisés par l'augmentation de la surface d'échange entre la plante et le milieu externe, acquise grâce au mycélium du champignon (JIN et *al.*, 2005).

Les formes de P et N susceptibles d'être absorbées par les mycorhizes ont également suscité de nombreuses recherches. Certains auteurs estiment que les mycorhizes ne parviennent à prélever le P qu'essentiellement dans le pool de P soluble du sol (HERNANDEZ et *al.*, 2000). Néanmoins, FENG et *al.* (2003), observent une activité enzymatique au niveau des hyphes extra-radicaux (phosphatases acides) susceptible de jouer un rôle dans la mobilisation de formes peu solubles de P. En ce qui concerne l'azote,

MÄDER et *al.* (2000) ont montré que les mycorhizes à arbuscules sont capables de transporter l'azote inorganique particulièrement NH_4^+ vers la plante hôte (NO_3^- en condition de sécheresse). L'habilité des champignons mycorhiziens à capter l'azote directement à partir des sources organiques a été montrée par HODGE et *al.* (2001) chez les endomycorhizes et EMMERTON et *al.* (2001) chez les ectomycorhizes. Les mycorhizes sont également impliquées dans la fixation de l'azote atmosphérique par les légumineuses (GANRY et *al.*, 1985 ; LEKBERG et KOIDE ; 2005). Des stimulateurs de croissance (hormones) de la plante sont aussi exsudés par le champignon (WU et *al.*, 2005).

- L'amélioration de l'alimentation hydrique

Les études ont montrés que les plantes mycorhizées résistent mieux au stress hydrique que celles non mycorhizées. RUIZ-LOZANO et AZCON (1995) ont trouvé une teneur en eau des tissus de plantes mycorhizées supérieure à ceux de plantes non mycorhizées. AUGÉ et *al.* (2001) ont montré que les feuilles de soja et de dolique mycorhizés se déshydratent moins vite que celles de plantes non mycorhizées en condition de stress. Ces résultats militent en faveur de l'implication des mycorhizes dans l'acquisition et la gestion de l'eau par la plante.

Plusieurs explications sont fournies. Certains auteurs (HARDIE, 1985) suggèrent qu'elle est simplement permise par la possibilité d'exploration d'une vaste surface de sol et la disponibilité en phosphore conférées à la plante par les hyphes du champignon. D'autres postulent pour une amélioration de la conductance hydraulique des racines (KOIDES, 1985) et pour une modification de l'élasticité des parois des hyphes (SANCHEZ-DIAZ et HONRUBIA, 1994) qui permettent à l'eau de circuler plus facilement vers la plante. Enfin, au niveau cellulaire, KUBIKOVA et *al.* (2001) évoquent un ajustement stomatique. RUIZ-LOZANO (2003) a en effet révélé l'existence d'une régulation de l'ouverture des stomates suite à une modification hormonale chez les plantes mycorhizées.

- La tolérance aux métaux lourds

Outre leur rôle dans la nutrition hydrominérale des plantes, les mycorhizes ont une action non négligeable sur leur tolérance aux métaux lourds. Les études sur des plantes se développant sur des sols à fortes teneurs en Zn et Cu (GALLI et *al.*, 1995) ; Cd et Ni (GUO et *al.*, 1996) ; Al (RIFYKIRI et *al.*, 2000) ; Na et Pb (MALCOVA et *al.*, 2003) ont montré une croissance supérieure des plantes mycorhizées par rapport aux non mycorhizées. Ce qui met en évidence une meilleure tolérance des plantes mycorhizées.

Selon RAJAPASKA *et al.*, (2004), la tolérance des plantes mycorhizées résulte d'une forte rétention de ces éléments dans les tissus du champignon de sorte qu'ils ne parviennent à la plante qu'en quantités infimes. JONER et LEYVAL (2003) ont effectivement isolé dans ces sols hostiles des souches de champignons mycorhiziens dont les hyphes présentent de fortes concentrations en métaux lourds.

- La protection contre les pathogènes

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) et des champignons pathogènes (SLEZACK *et al.*, 1999 ; GUENOUNE *et al.*, 2000).

Les mécanismes de cette bioprotection sont divers et variés. Ainsi, le manchon d'hyphes des ectomycorhizes constitue, selon BRUNDRETT (1991), une barrière mécanique efficace contre les pathogènes. FORTIN *et al.* (2002) ont rapporté que les exsudats produits par *G. intraradices* entraînent la restriction de la croissance et la germination des conidies chez *Fusarium oxysporium*. L'avantage nutritionnel conféré à la plante par la mycorhize est aussi évoqué (BODKER *et al.*, 1998) pour justifier sa meilleure résistance aux maladies.

1.2.3.2. Les bénéfiques pour le champignon

En contrepartie des nutriments reçus, la plante fournit au champignon des hydrates de carbone dérivant des produits de la photosynthèse (LERAT 2003). Les champignons n'ont pas d'appareil photosynthétique et sont par conséquent hétérotrophes vis-à-vis du carbone (C). En générale, le développement des champignons mycorhiziens de même que la formation des vésicules et des spores dépendent en exclusivité du C puisé chez l'hôte (LERAT, 2003).

Il semble que le C soit fourni au champignon sous forme d'hexoses (saccharose, glucose et fructose). On ignore encore si l'entrée des hexoses dans les structures fongiques se fait de façon passive ou active. Mais leur conversion rapide en glycolipides (BAGO *et al.*, 2003) entretiendrait en permanence un gradient de concentration d'hexoses entre la racine et le mycélium, occasionnant ainsi une demande permanente en hexoses. GAVITO et OLSSON (2003) estiment que 4 à 20 % des produits de la photosynthèse sont alloués au champignon.

Outre les hexoses, le transfert de vitamines (thiamine et biotine) du végétal vers le champignon est aussi mentionné (SMITH et READ, 1997). Il a été aussi démontré que les exsudats racinaires émises par la plante hôte agissent sur la germination des spores et la croissance des hyphes des champignons associés (GIANINAZZI-PEARSON *et al.*, 1989).

1.2.3.3. Les répercussions agro-écologiques

- L'impact sur les systèmes de cultures

JANSSEN (2006) a démontré que l'utilisation des champignons mycorhiziens permet de réduire de 15 à 25 % les apports d'engrais phosphatés. Des résultats obtenus sur plusieurs types de cultures (arachide, soja, oignon, etc.) suscitent un vif intérêt pour l'utilisation de cette symbiose comme alternative à l'emploi d'engrais phosphatés et azotés (KAHILUOTO et al., 2001 ; QUILAMBO, 2003).

Les études ont aussi mis en évidence, grâce à l'utilisation de marqueurs isotopiques, des transferts de carbone (SIMARD et al., 1997 cités par BRUNDRETT, 2004), d'azote (BETHLENFALVAY., 1991) et de phosphore (NEWMAN et EASON, 1993 cités par LERAT, 2003) entre plantes, via le mycélium de partenaires fongiques communs. Ceci permettrait de réduire la compétition entre les espèces et d'envisager une réduction des apports de MO et d'engrais composés (NPK) dans le cas de cultures associées légumineuses/céréales.

En outre, les champignons mycorhiziens favorisent le contrôle de certains agents pathogènes ce qui permet de concevoir une agriculture plus saine par la réduction substantielle des apports externes de pesticides. LENDZERMO et al., (2004) ont montré que l'utilisation des mycorhizes à arbuscules permet de réduire significativement la prolifération de *Striga hermontheca* dans les champs de céréales et peut ainsi constituer une voie intéressante pour la gestion intégrée de ce parasite dans les parcelles cultivées.

- L'impact sur la stabilité structurale du sol

Les champignons mycorhiziens sont directement impliqués dans l'amélioration de la stabilité structurale du sol (RILLIG et MUMMEY, 2006). Les hyphes extramatricielles créent des structures squelettiques qui prennent en masse les particules du sol. Ceci favorise la formation de micro et de macroagrégats stables (BEARE et al., 1997) et permet une meilleure tenue du sol contre les phénomènes d'érosion (BETHLENFALVAY, 1992).

La glomaline est une glycoprotéine produite en abondance par les mycorhizes à arbuscule et dont la concentration dans le sol est fortement et positivement corrélée à l'état de stabilité structurale (WRIGHT et al., 1999 ; RILLIG et al., 2005). Son rôle dans la formation d'agrégats stables est largement reconnu (DRIVER et al., 2005). Selon CARAVACA et al. (2002), la glomaline forme un ciment qui lie les particules du sol entre elles tout en maintenant une bonne porosité.

- La réhabilitation des sols pollués

De récentes études ont montré que certains champignons du sol peuvent jouer un rôle important dans la bioremédiation de surfaces contaminées par des métaux lourds (CABELLO, 1997 ; JONER et LEYVAL, 2003). La bioremédiation fait référence à l'utilisation d'organismes vivants dans le but de nettoyer les sols contaminés. La recherche de souches fongiques performantes présente, selon ENTRY et *al.* (2002), un intérêt pour la mise en valeur de ces sols marginaux.

1.2.4. Interactions microbiennes dans le sol

- Définition et concept de mycorrhizosphère

La mycorrhizosphère désigne la zone du sol directement sous l'influence à la fois des champignons mycorhiziens et des racines des plantes associées (LINDERMANN, 1988). Elle inclue un terme plus spécifique, à savoir l'hyphosphère qui se réfère uniquement à la zone du sol entourant chacun des hyphes individuels du champignon mycorhizien.

La mycorrhizosphère et l'hyphosphère sont caractérisées par des paramètres qui les différencient du sol immédiatement environnant. L'établissement de la symbiose mycorhizienne selon WAMBERG et *al.* (2003), engendre une modification des paramètres chimiques, biologiques et biochimiques du sol, qui aboutit à un nouvel équilibre microbien.

- Interactions champignons mycorhiziens - microorganismes mycorrhizosphérique

Les recherches ont établi que la mycorrhizosphère et l'hyphosphère abritent une intense activité biologique due à de nombreux microorganismes (invertébrés ; champignons pathogènes ; bactéries ; nématodes ; etc.) qui interagissent entre eux et avec les champignons mycorhiziens (ALBERTSEN et *al.*, 2005). Le carbone attribué par l'hôte au champignon associé représente une part importante d'énergie transportée dans la mycorrhizosphère et convoitée par d'autres microorganismes du sol (JOHANSSON et *al.*, 2004).

Les champignons mycorhiziens peuvent contrôler la population et l'activité des microorganismes mycorrhizosphériques et à leur tour être contrôlés par ceux-ci (HODGE, 2000 ; FORTIN et *al.*, 2002). Les interactions peuvent être directes ou indirectes et peuvent engendrer des effets négatifs, positifs ou neutres sur les champignons mycorhiziens et les autres microorganismes (GERMANI et *al.*, 1981).

L'action négative des champignons mycorhiziens est celle opérée lors du biocontrôle des agents pathogènes. Celle des microorganismes s'observe lorsque les substances exsudées

par ceux-ci entravent la croissance des hyphes et la formation de spores ou de conidies chez le champignon (GARBAYE, 1994).

Les interactions positives concernent l'exaltation de l'activité du champignon et/ou des autres microorganismes suite à la fourniture d'énergie (carbone). Le plus souvent, elles conduisent à un effet bénéfique pour la plante hôte.

FORTIN et al. (2002) ont noté que l'association *Glomus intraradices* avec *Pseudomonas aeruginosa* induit une augmentation du taux de mycorhization des racines et favorise la solubilisation du phosphore et la croissance des arbres. ASSIGBETE et al. (2005) notent que l'ectomycorhization de *A. auriculiformis* accroît la diversité bactérienne du sol.

Il existe aussi des situations où le champignon n'a aucun effet sur la population et l'activité des autres microorganismes et vis versa. Toutes ces interactions déterminent la structure et la composition des microorganismes dans la rhizosphère.

- interactions champignons mycorhiziens -bactéries fixatrices d'azote

Un exemple patent d'interaction positive est celle qui s'établit entre les champignons mycorhiziens et les bactéries fixatrices d'azote (*Rhizobium*) chez les légumineuses. Cette interaction donne lieu à des effets de type synergique permettant d'optimiser les bénéfices des deux symbioses pour la plante hôte. La symbiose tripartite entre légumineuse, *Rhizobium* et champignons mycorhiziens a un impact positif accru sur la croissance, la nodulation, de même que la nutrition en phosphore et en azote des plantes (FITTER ET GARBAYE, 1994). RAHMAN et PARSONS (1997) ont par exemple montré que la double inoculation de *Glomus mosseae* et de *Azorhizobium caulinodans* augmente de 28,3 % le taux de nodulation chez *Sesbania rostrata* par rapport aux plantes non mycorhizées. Cet effet selon BAREA (1991), résulte du fait que la fixation de N₂ repose sur la disponibilité du P dans le sol. L'existence de ces synergies d'action offre un potentiel intéressant, surtout dans les pays tropicaux où la majorité des sols sont reconnus pauvres en P et en N.

1.2.5. Facteurs affectant la mycorhization

1.2.5.1. Les paramètres édaphiques

La variation de certains paramètres tels que le pH, l'aération, l'humidité, la température, la lumière, la texture du sol peut constituer une entrave sérieuse au processus de mycorhization. GOSLING et al. (2006) reconnaissent que les variations de pH influencent la capacité d'infection et de reproduction des champignons mycorhiziens. Il existe un pH optimum auquel est adapté chaque espèce de champignon. TRAPPE et al. (1984) avancent

que la germination de *Glomus* et de *Gigaspora* est optimale à pH compris entre 4 et 7. L'intensité lumineuse joue un rôle important dans l'établissement de la symbiose mycorhizienne. Il existe un seuil minimum d'intensité lumineuse en dessous duquel la mycorhization ne peut s'effectuer.

DOMMERGUES et MANGENOT (1970) estiment que les sols présentant une humidité comprise entre 60 et 100 % de la capacité de rétention sont favorables à la formation de complexes endotrophes chez les céréales. Une bonne texture du sol ainsi qu'une bonne aération sont favorables à l'établissement de la mycorhization. Les sols sableux sont peu favorables à la formation aussi bien d'endo que d'ectomycorhizes, tandis que les sols riches en colloïdes la favorisent (BRUNDRETT, 1991).

1.2.5.2. Les pratiques culturales

Les labours réguliers ont pour effet de perturber la structure du sol et de rompre les complexes mycorhiziens (KABIR, 2005). La monoculture continue et la rotation culturale ont des effets dépressifs sur le pool de spores des endomycorhizes (DOUDS et MILLNER, 1999 ; VESTBERG et al., 2005). Cependant, un des facteurs clefs affectant les bénéfices potentiels de la mycorhization est le niveau de fertilité du sol en N et en P. Une fertilisation élevée en P et en N limite l'établissement de la symbiose mycorhizienne dans les champs cultivés (TRESSEDER et ALLEN, 2002 ; GRYNDLER et al., 2006).

Les fongicides peuvent avoir un effet dépressif sur l'activité des mycorhizes à arbuscules (GOSLING et al., 2006). KJOLLER et ROSENDAHL (2000) ont suggéré que l'utilisation de fongicides entraîne la réduction des hyphes externes actifs, avec pour conséquence la perte de l'activité de transfert de nutriments. LARSEN et al., (1996) ont montré que le Benomyl inhibe le transport du P au niveau des hyphes de *Glomus*.

1.2.5.3. Les facteurs de dégradation des sols

La concentration excessive de NaCl dans le sol inhibe la formation des mycorhizes et restreint l'activité de la plus part des champignons mycorhiziens (JUNIPER ET ABBOTT, 1993). Des observations dans les écosystèmes naturels révèlent que les plantes mycorhizées sont moins abondantes que celles non mycorhizées dans les sols hydromorphes ou soumis à un lessivage intense (BRUNDRETT, 1991). L'érosion entraîne la diminution des propagules des champignons mycorhiziens (MOSSE, 1986).

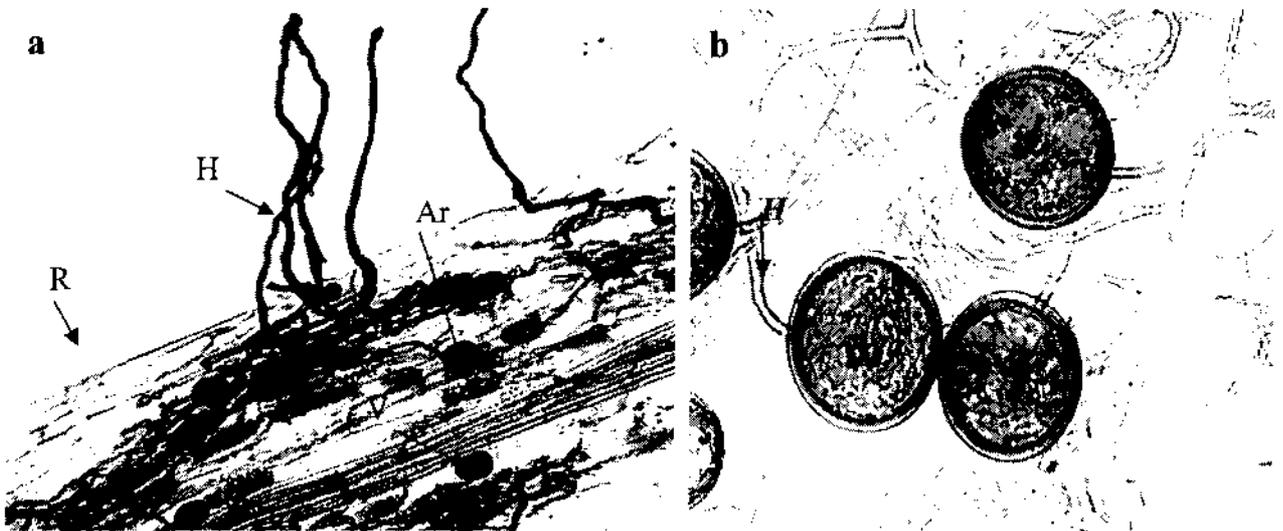
1.2.6. Le cas de *Glomus intraradices* Schenck et Smith

1.2.6.1. Taxonomie

Glomus intraradices Schenck et Smith est un champignon endomycorhizien à vésicules et arbuscules (STRULLU et al., 1997). Il appartient, selon la classification de SCHUSSLER et al. (2001) à la classe des Glomeromycètes (anciens Zygomycètes). Cette classe est subdivisée en 4 Ordres, 6 familles et 9 Genres. *Glomus intraradices* appartient au genre *Glomus* qui constitue le genre le plus répandu (DE SOUZA, 2005).

1.2.6.2. Brève description de *Glomus intraradices* Schenck et Smith

Glomus intraradices forme des vésicules et des arbuscules. Les spores qui sont les types majeurs de propagules à partir desquels se différencie le champignon ont une forme arrondie avec un diamètre moyen de $80 \pm 21,7 \mu\text{m}$ (STRULLU et al., 1997). Lorsqu'elles se développent en culture in vitro, les spores développent de courts pédicelles d'environ $100 \mu\text{m}$ de long, qui les relient à de longs hyphes. Des observations microscopiques (VALENTIN, 1991) montrent que les hyphes sont émises en majorité à partir de vésicules intraracinaires (taille $\geq 20 \mu\text{m}$) riches en substances de réserve. Les vésicules peuvent endosser la fonction de propagule (DALPE et MONREAL, 2004).



Source : <http://www.kent.ac.uk/bio/beg/>

Planche 2: *Glomus intraradices* Schenck et Smith. a : Racine infectée ; b : Spores matures (colorées au réactif de Melzer). H. : Hyphe, V : vésicule, Ar : Arbuscule, S : spore, R : racine

1.2.6.3. Cycle de développement de Glomus intraradices Schenck et Smith

G. intraradices est un symbiote obligatoire, c'est-à-dire qu'il est incapable de boucler son cycle de développement en l'absence des racines d'une plante hôte vivante (GONZALEZ-GUERRERO et al., 2005). On peut distinguer trois phases principales dans le cycle de *Glomus intraradices* :

- **l'établissement de la symbiose** : qui implique l'activation de la propagule, la recherche de l'hôte, la pénétration dans les cellules de l'hôte et la formation d'organes d'échanges ;
- **la croissance végétative** : qui comprends l'élongation du mycélium intra et extraracinaire entraînant l'augmentation de la biomasse du champignon ;
- **la phase reproductive** : avec la formation des structures de reproductions.

La figure 1 présente le cycle de développement de *Glomus* selon STRULLU et al. (1997).

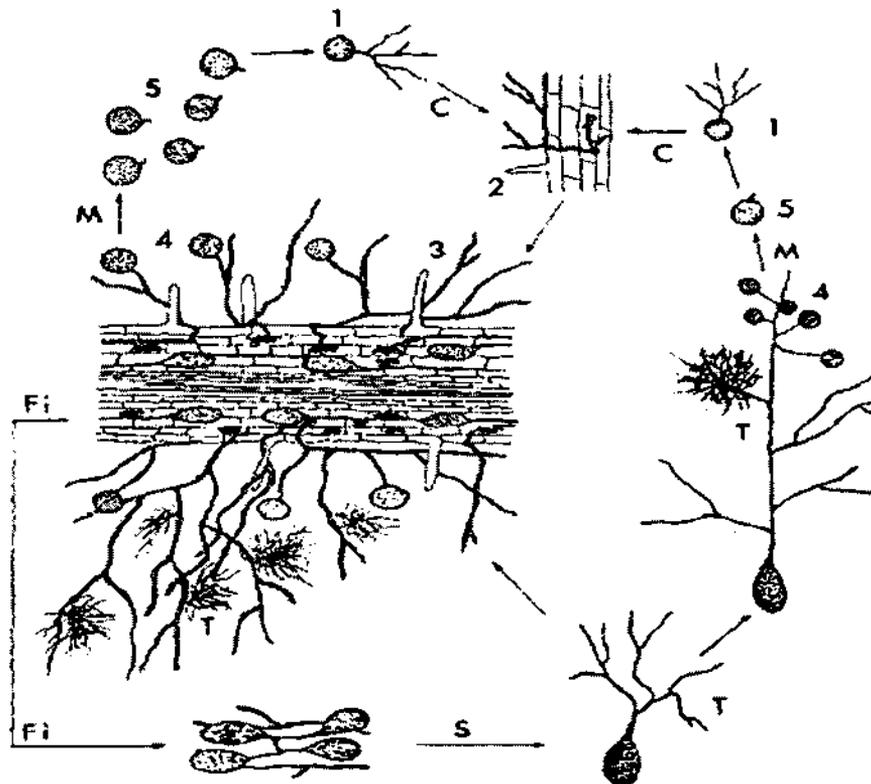


Figure 1 : Cycle de développement et mode de survie in vitro de *Glomus*

NB : 1-5 : stades de développement ; C : contact racinaire ; Fi : forme intraracinaire ; M : maturation sporale ; S : phase saprophytique ; T : thalle.

Dans ce cycle, le point de départ est formé par des chlamydospores végétatives qui germent en donnant un mycélium primaire assimilé à un promycélium (stade 1). Ce promycélium doit obligatoirement rencontrer une racine vivante (C) afin de poursuivre son développement. Au contact de la racine il se forme alors un appressorium (stade 2) qui permet au champignon de pénétrer dans la racine où il donne un mycélium secondaire et des

arbuscules (stade 3). La forme intraracinaire (Fi) est mise en place. Ce mycélium progresse entre les cellules racinaires, se renfle en vésicules et différencie des arbuscules qui envahissent les cellules corticales. La mycorhize ainsi constituée, produit un réseau d'hyphes extramatriciels qui est à l'origine de la formation des spores. A leur maturité (M), les spores sont libérées dans le sol (stade 5) et en germant, elles forment le promycélium de départ.

1.3. Eléments de mycorhization contrôlée

1.3.1. Définition, Objectifs et Principe de la mycorhization contrôlée

L'expression *mycorhization contrôlée* renvoie à un ensemble de pratiques techniques destinées à provoquer la symbiose entre un jeune plant et une souche donnée d'un champignon, sélectionné pour ses performances intrinsèques et sa synergie vis-à-vis de l'espèce considéré (BOUCHARD et *al.*, 1997). L'objectif poursuivi étant de produire des plantes biologiquement améliorées par optimisation de l'établissement de la symbiose. Le principe consiste à apporter de façon précoce (généralement en pépinière) une ou plusieurs souches de mycorhizes spécifiques et définies sous la forme de propagules (spores, fragments d'hyphes, mycélium, etc.) dans les parcelles cultivées (GAUNT, 1978).

1.3.2. Procédés de mycorhization contrôlée

Selon GARBAYE (1991) la mycorhization contrôlée regroupe un ensemble de procédés techniques, comprenant : la sélection ; la culture ; la multiplication ; l'incorporation au sol et le suivi écologique du champignon. Cette définition résume les principales étapes intervenant dans le processus de mycorhization contrôlée. Ces étapes peuvent cependant être regroupée en deux catégories principales à savoir : la production de l'inoculum et l'inoculation proprement dite.

1.3.2.1. La production d'inoculum

L'inoculum constitue la forme sous laquelle le champignon sera apporté à la plante. Il s'agit généralement d'une culture pure du champignon cible. Les techniques de production d'inoculum fongique diffèrent selon le type de mycorhize concerné.

Chez les ectomycorhizes la production d'inoculum ne pose pas de problèmes majeurs. En effet, les ectomycorhizes sont majoritairement des symbiotes facultatifs donc capables de se développer et de fructifier en l'absence d'une plante hôte. Les études ont montré qu'il est possible d'isoler le champignon cible et de le multiplier en le plaçant simplement sur un

substrat approprié et arrosé avec des solutions nutritives de composition adéquate ou fertilisé avec des engrais retards.

En revanche, la mycotrophie obligatoire des endomycorhizes constitue une embûche de taille à la production d'inoculum, car on ne sait pas les cultiver en l'absence d'une plante hôte. La multiplication *in vitro* sur racines vivantes est cependant réalisable (STRULLU et *al.*, 1991). Dans ce cas, on isole les propagules du champignon et on les cultive en présence d'une plante mycotrophe. Après développement de la plante, on récolte l'inoculum constitué par les racines mycorhizées et le substrat qui a servi de support pour la multiplication. En raison de l'absence de spécificité d'hôte des endomycorhizes, on peut utiliser des racines d'espèces végétales très diverses.

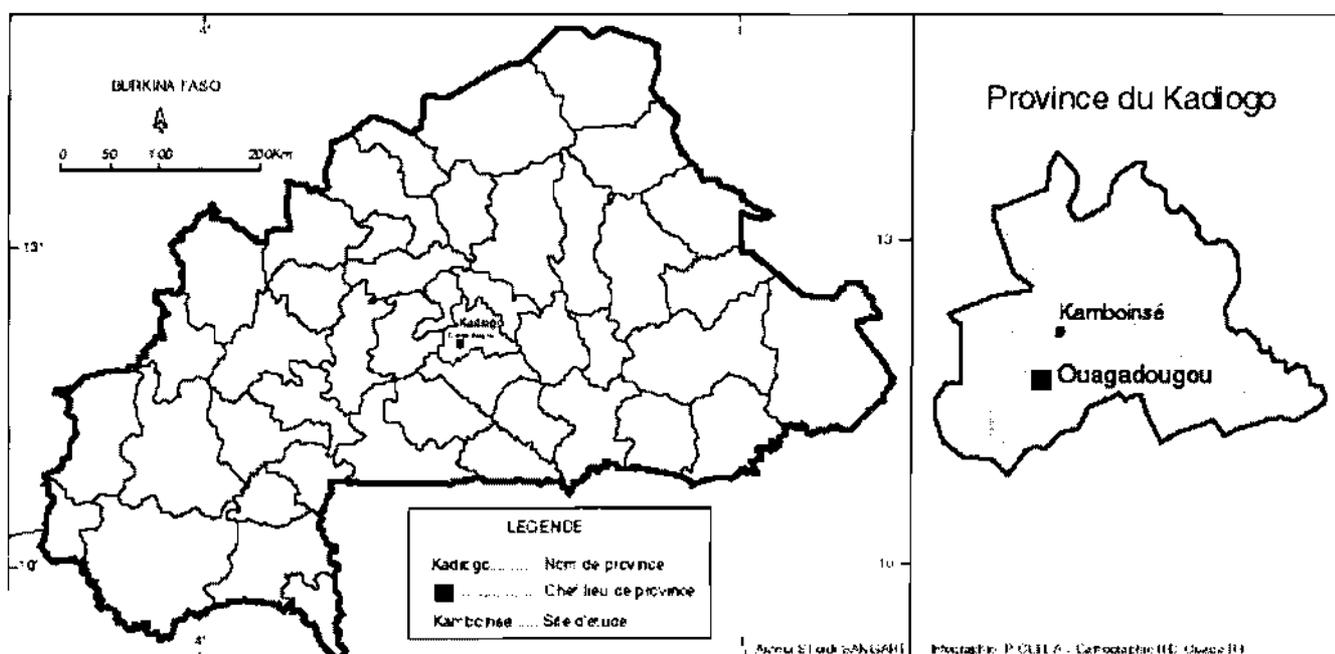
1.3.2.2. L'inoculation

L'inoculation consiste à mettre le champignon directement en contact avec la plante hôte considérée. Il existe diverses méthodes pour introduire les inocula de champignons mycorhiziens dans une culture au champ. Certaines méthodes consistent par exemple, à l'enrobage des graines avec l'inoculum des champignons mycorhiziens avant les semis. On peut aussi incorporer l'inoculum directement sur les plateaux de bouturage, les lits de pépinière ou dans les pots des plantules en répandant l'inoculum au pied des plantules. Dans cette situation, les jeunes plantes qui poussent seront ainsi colonisées par les champignons introduits, et peuvent alors être transplantées au champ.

Chapitre II : PRESENTATION DU SITE D'ETUDE

2.1. Situation géographique

L'étude a été conduite sur la station de recherche de l'INERA basée à Kamboinsé. Kamboinsé est un village de la province du Kadiogo, situé à une douzaine de kilomètres au Nord de la ville de Ouagadougou, sur l'axe routier Ouagadougou – Kongoussi (Carte 1). La station de Kamboinsé couvre une superficie de 230 ha et appartient à la zone phytogéographique Nord-soudanienne du Burkina Faso (FONTES et GUINKO, 1995). Elle est comprise entre 12°28 de latitude Nord et 1°32 de longitude Ouest, avec une altitude moyenne d'environ 296 m.



Carte 2 : Localisation du site d'étude

2.2. Climat

Le climat est de type Nord soudanien (GUINKO ; 1984), caractérisé par l'alternance de deux saisons fortement contrastées et d'inégale durée : une longue saison sèche qui s'étend généralement d'octobre à mai et une courte saison pluvieuse de juin à septembre.

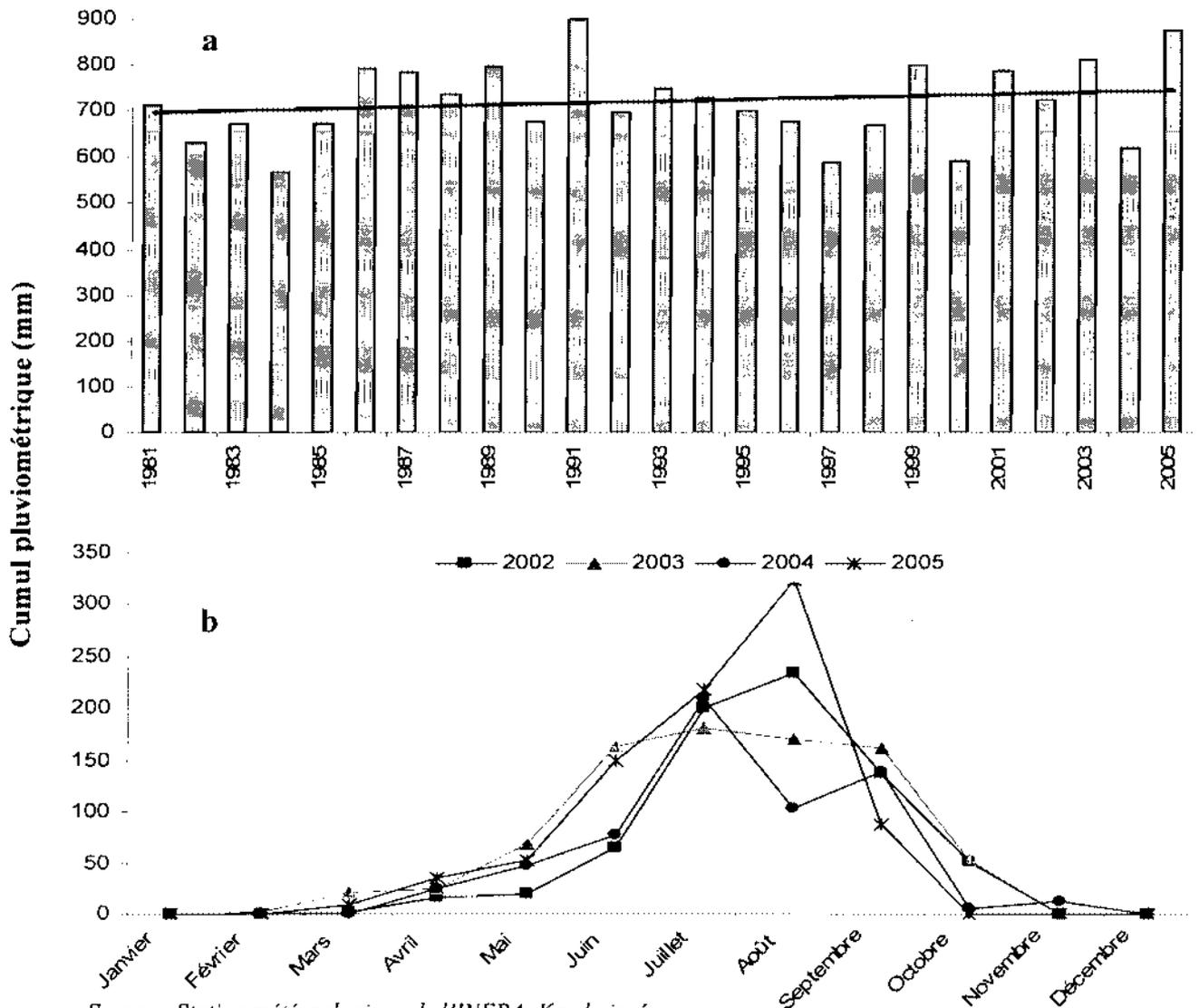
Les événements climatiques se succèdent au cours de ces deux saisons et sont fortement influencés par leur grande variabilité :

- les pluies sont caractérisées par une forte irrégularité et une inégale répartition spatio-temporelle. Les cumuls pluviométriques relevés sur la station au cours de la période de 1980 à 2001 donnent une moyenne de 715 mm.

- pendant les périodes froides (octobre à février), les températures moyennes enregistrées au cours de la même période oscillent entre 19°C et 35°C. Elles atteignent souvent 39°C pendant les périodes chaudes, notamment en avril qui est le mois le plus chaud. Les valeurs moyennes minimales et maximales enregistrées au cours de la période 2002-2005 sont respectivement de 21,9°C et 35,0°C ;

- la moyenne journalière de la durée de l'insolation dépasse habituellement 9 heures. L'évapotranspiration qui caractérise la demande climatique est élevée en avril à cause des fortes températures. Les valeurs enregistrées au cours de la période de 2002 à 2005 sont assez fortes et varient de 9,6 à 8,4 mm/mois entre novembre et avril et 7, 7 à 6,6 de juin à août;

- deux types de vents dominant sur toute la zone : l'harmattan en saison sèche et la mousson en saison pluvieuse. Les vitesses moyennes mensuelles et annuelles sont généralement faibles. Les plus fortes valeurs sont enregistrées en début de saison pluvieuse.



Source : Station météorologique de l'INERA Kamboinsé

Figure 2 : Caractéristiques pluviométriques de la station de Kamboinsé : a) cumuls pluviométriques annuels de 1981 à 2005 ; b) pluviométrie mensuelle de 2002 à 2005

2.3. Géologie, Géomorphologie et Hydrographie

Le socle rocheux du plateau mossi dont fait partie la zone de Kamboinsé, comprend des roches métamorphiques issues du birrimien et des roches cristallines du précambrien moyen et du précambrien (DUCELLIER, 1957 cité par ZERBO, 1995). Les sédiments anciens du birrimien ont donné naissance à des roches basiques riches en argile, limon et fer et se présentent sous forme d'andésite, de gabbro, de dolérite et de basalte.

Du point de vue géomorphologie, ZERBO (1995) distingue trois unités principales :

- l'unité I est formée par l'ensemble des zones basses que sont les retenues d'eau et les bas-fonds et qui constituent la zone d'écoulement préférentielle des eaux. Elle est caractérisée par des écoulements et des stagnations temporaires ou permanentes ;
- l'unité II comprend les zones des points hauts que sont les buttes, les affleurements cuirassés et les zones cuirassées à recouvrement gravillonnaire ;
- l'unité III est représentée par des glacis moyens très peu étendus.

En ce qui concerne l'hydrographie, la station de Kamboinsé est traversée en longueur par un bas-fond peu encaissé dans sa portion aval et encaissé dans sa partie amont. Ce bas-fond fait partie du sous bassin du Massili (bassin versant de Loumbila), affluent du Nakambé.

2.4. Monographie des sols

ZERBO (1995) a identifié et décrit six unités de sols réparties entre deux classes que sont la classe des sols à sesquioxydes de fer et de manganèse (sous classe des sols ferrugineux tropicaux) et la classe des sols hydromorphes. Les six unités de sols individualisées au niveau de la station sont :

1. les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés superficiels (0 à 20 cm), localisés aux extrémités Nord-Est et Nord-Ouest de la station ;
2. les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés, peu profonds (20 à 40 cm) qui occupent l'extrémité Nord-Est ;
3. les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés, moyennement profonds (40 à 60 cm), rencontrés dans la partie Nord ;
4. les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés à taches et à concrétions occupant la majeure partie des glacis ;
5. les sols hydromorphes peu humifères à pseudogley de surface, localisés sur le flanc Nord du glacis ;
6. les sols hydromorphes peu humifères à pseudogley d'ensemble, localisés au niveau du bas-fond.

2.5. Végétation

La station de Kamboinsé selon GUINKO (1984), est située dans le secteur phytogéographique soudanien septentrional qui est le domaine des savanes arbustives et arborées. Le bas-fond est dominé par une strate ligneuse haute, claire et assez dense à *A. leiocarpus*, *M. inermis*, *A. nilotica* et une strate herbacée ouverte, formée principalement par *A. gayanus* et *C. retusa*. Le bas glacis quant à lui, est le domaine de ligneux bas très claires dominés par *L. microcarpa*, *P. lucens*, *A. Seyal*, *Z. mauritiana* et une strate herbacée très ouverte à *M. pigra* et *E. hirta*. Les glacis moyens et les buttes cuirassées sont le domaine combiné d'une strate ligneuse haute ou basse très ouverte à prédominance de *V. Paradoxa*, *A. nilotica*, *A. digitata*, *B. aegyptiaca*, *A. seyal*, *Z. mauritiana* avec une strate herbacée formée par *P. pedicellatum*, *A. pseudapricus*, *S. alba*.

Si l'on se réfère aux conditions de distribution de *A. holosericea* (exposées dans le sous point 1.1.3.2 du chapitre I), nous pouvons conclure que la station de Kamboinsé offre des conditions climatiques et pédologiques non contraignantes au développement de l'espèce. Ces conditions favorables sont reflétées par la dominance de certaines espèces d'Acacia dans la majorité des unités de végétation rencontrées sur la station (ainsi que l'atteste le point 2.5 de ce chapitre).

Chapitre III : MATERIEL ET METHODES

3.1. Matériel

3.1.1. Production de l'inoculum fongique

Le champignon mycorhizien à arbuscules *Glomus intraradices* Schenk & Smith (DAOM 181602, Ottawa Agricultural Herbarium) a été multiplié sur du poireau (*Allium porrum* L.) sous serre, pendant 12 semaines sur le substrat Terragreen™. Le Terragreen™ est une argile calcinée (taille moyenne des particules = 5 mm), venant de Georgie et souvent utilisée comme substrat pour la propagation de ce champignon mycorhizien (PLENCHETTE et al., 1996). Les poireaux sont ensuite déracinés et rincés délicatement. Leurs racines sont coupées en morceaux de 2 mm de long et conservées à 4°C. Ces racines prédécoupées constituent l'inoculum fongique utilisé. Des racines de poireau non mycorhizées, préparées comme ci-dessus décrit, sont utilisées pour les traitements non inoculés (témoin et fertilisé).

3.1.2. Préparation du matériel végétal

Des semences de *A. holosericea* A. Cunn ex G. Don ont été préalablement stérilisées et scarifiées à l'aide d'acide sulfurique concentré (36 N) pendant 60 minutes. La solution d'acide a été ensuite décantée et les semences trempées pendant 12 heures dans de l'eau distillée, destinée à les rincer. Les semences sont alors transférées dans des boîtes de pétri aseptisées, contenant une solution d'agar à 1% (W/V). L'ensemble a été incubé pendant 4 jours à 25°C. Les semences prégermées ont été ensuite transplantées dans des pots plastiques (1 litre) contenant du sable stérilisé à 140°C pendant 40 minutes. Les pots ainsiensemencés sont alors placés sous serre (durée d'insolation d'environ 12 h/jour et à 25°C).

Pour la mycorhization contrôlée des plantules, un trou d'environ 1 cm de diamètre sur 5 cm de profondeur est pratiqué dans chaque pot dans lequel 1g de racines de poireaux prédécoupées (racines mycorhizées, et non mycorhizées pour les autres traitements) est déposé. Les trous sont ensuite recouverts avec le même sol stérilisé. Les pots sont quotidiennement arrosés avec de l'eau de robinet (pH voisin de 6) sans fertilisation.

Pour la fertilisation, les pots sont amendés avec 5 granules d'Osmocote™ de 0,5g chacune et libérant progressivement du N, P, K sous la formule 11 - 8 - 17.

Toutes les plantules ainsi préparées sont suivies en pépinière pendant 4 mois.

3.1.3. Description du dispositif expérimental

Après 4 mois de croissance en pépinière, 5 plantules ont été choisies au hasard par traitement et pesées afin de déterminer leurs biomasses aérienne et racinaire. Le taux de mycorhization des racines a été également évalué par observation du système racinaire au microscope optique après traitement par la méthode décrite par PHILLIPS et HAYMAN (1970). Les autres plantules ont été transférées sur le site expérimental et mis en plantation selon un dispositif en randomisation totale. Le dispositif a été mis en place en juin 2002 selon les trois modalités suivantes : un traitement portant des plantes non mycorhizées et non fertilisées qui fait office de *Témoin*, un traitement *Mycorhizé* comportant des plantes inoculées avec *Glomus intraradices* et un traitement *Fertilisé* portant les plantes initialement amendées avec les granules d'Osmocote. Les traitements sont organisés en trois blocs de 15 arbres chacun. Les arbres de chaque bloc sont distribués spatialement en 3 colonnes de 5 arbres chacune. La distance entre 2 arbres dans la même colonne et entre 2 colonnes voisines est de 3 m et celle entre 2 blocs de 6 m (figure 3).

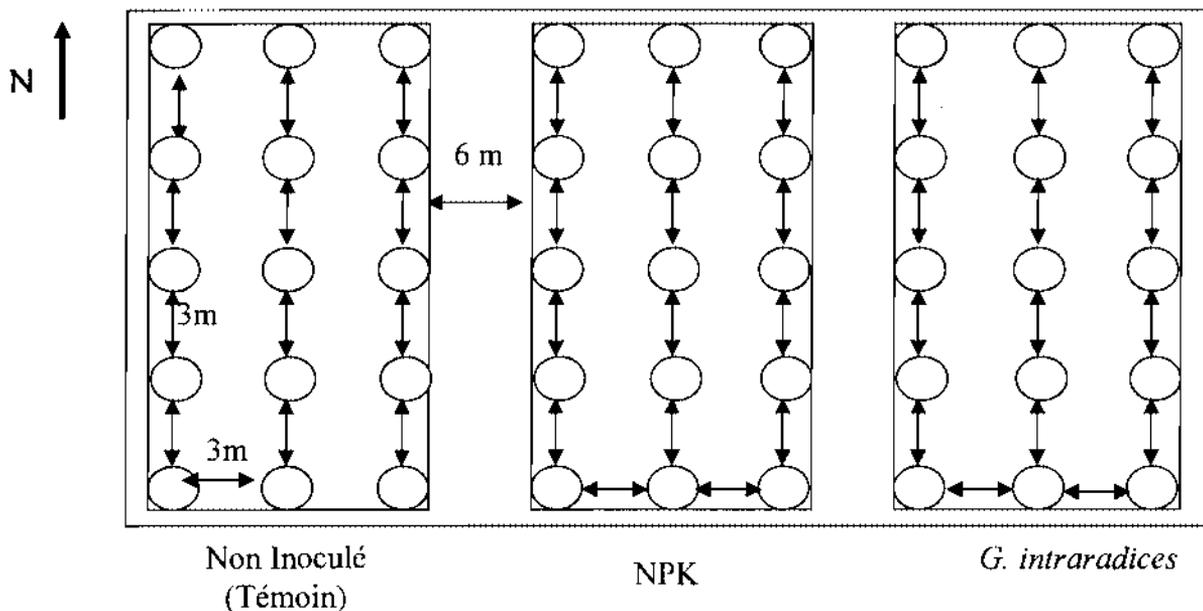


Figure 3 : Schémas du dispositif expérimental

L'essai couvre une superficie de 650 m². Les sols des parcelles expérimentales sont de types ferrugineux tropicaux lessivés et indurés moyennement profonds, la profondeur moyenne n'excède pas 60 cm. Les caractéristiques physico-chimiques du sol initial sont présentées en annexe 1.

3.2.2. Etude de la dynamique de la végétation herbacée

3.2.2.1. Relevé linéaire de la végétation herbacée

L'inventaire des herbacées a été réalisé par la méthode de relevé linéaire de la végétation décrite par DAGET et POISSONNET (1971). C'est une méthode descriptive qui permet de caractériser chaque espèce en terme d'importance dans le couvert végétal, en notant leurs fréquences en des points fixes appelés «points quadrats ou points contacts». Elle fournit une analyse qualitative et quantitative des formations herbacées en intégrant l'étude de la structure spécifique verticale et horizontale (DAGET et POISSONNET, 1971).

Sur le terrain, la méthode consiste à recenser les présences des espèces herbacées à la verticale de points équidistants de 10 cm, régulièrement disposés le long d'une ligne de relevé matérialisée par un fil tendu entre deux jalons et enfouis dans la végétation. On recense toutes les espèces en contact se trouvant sur une projection orthogonale par rapport au fil et matérialisée par une tige métallique graduée de 5 mm de diamètre. Par convention, chaque espèce est notée une fois par contact. L'inventaire est réalisé en partant du pied de chaque arbre et en suivant deux directions : Est-Ouest et Nord-Sud. La ligne de lecture mesure 300 cm de long (soit 30 points de lecture et 60 points par pied). Cette ligne est placée de sorte à avoir le pied de l'arbre comme milieu (environ 150 cm de part et d'autre). Tous les pieds présents, à l'exception des arbres de bordure, ont été concernés.

3.2.2.2. Expression des résultats

Les données collectées ont servi à exprimer la richesse et la diversité floristique herbacées dans les parcelles. Ainsi, la fréquence spécifique (FSi) et la contribution spécifique (CSi) de chaque espèce ont été calculées par les relations :

- $FSi = \Sigma$ des présences de l'espèce sur la ligne ;
- $CSi = 100 \times (FSi / \Sigma FSi)$.

Deux indices de diversité, en plus de l'équitabilité ont également été calculés :

- l'indice de *Shannon-Weaner* : $H' = - \sum ((Ni/N) \log_2 (Ni/N))$; où Ni représente le nombre d'individus d'une espèce donnée, i allant de 1 à S (nombre total d'espèces) et N le nombre total d'individus. Cet indice est souvent accompagné de l'indice d'*Equitabilité* ($E_{H'}$) selon PIELOU (1966) : $E_{H'} = H' / \log_2 (N)$, avec H' = indice de Shannon-Weaner et $\log_2 (N)$ = la diversité maximale pour un nombre N d'espèces.

- l'indice de *diversité de Hill* : $Hill = (1/D)/e^{H'}$; $1/D$ est l'inverse de l'indice de Simpson ($D = \sum Ni (Ni-1) / (N (N-1))$; Ni = nombre d'individus de l'espèce ; N = nombre total d'individus et $e^{H'}$ est l'exponentiel de l'indice de Shannon-Weaner.

3. 2. Méthodes

3.2.1. Les prélèvements de sols

Les prélèvements ont concerné les sols sous tous les arbres présents dans les parcelles à l'exception de ceux de bordure. Ils ont été réalisés sur la profondeur 0-15 cm selon les modes opératoires illustrés par les *figures 4a et 4b*.

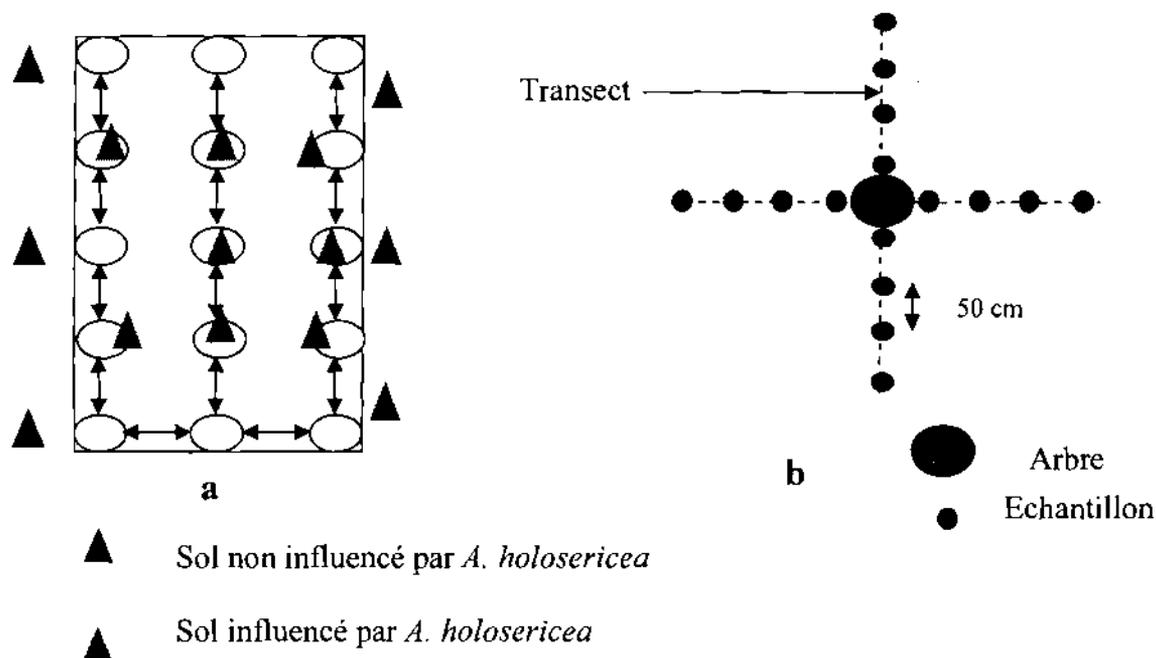


Figure 4 : Protocole d'échantillonnage des sols : a) au niveau de la parcelle ; b) au niveau de chaque arbre individuel

Au niveau de la parcelle (figure 4a), les arbres présents sur les bords Nord et Sud sont considérés comme des arbres de bordures car jouxtant des parcelles cultivées à moins de 6 m. Des sols témoins absolus, non influencés par les arbres sont prélevés sur des parcelles contiguës à la parcelle expérimentale sur les cotés Est et Ouest et dans les intervalles entre deux blocs.

Au niveau de chaque arbre (figure 4b), un transect est matérialisé à partir du pied jusqu'à 150 cm de part et d'autres. Les prélèvements sont effectués tous les 50 cm en prenant la base de l'arbre comme point de départ. Ce qui donne quatre points de prélèvement par coté (soit 0 cm ; 50 cm ; 100 cm et 150 cm) et 16 échantillons par arbre. Ces échantillons sont ensuite mélangés pour former un échantillon composite par distance et par arbre.

Les échantillons de sol ont été prélevés à l'aide d'une tarière et pèsent environ 1 kg par échantillon. Ces échantillons sont séchés à l'air ambiant et conditionnés dans des sachets plastiques avant d'être soumises aux analyses.

Ces différents indices utilisés permettent d'étudier et de quantifier rapidement, à l'aide d'un seul chiffre, la biodiversité du peuplement (MAGURRAN, 1988).

3.2.2.3. Estimation de la biomasse sèche épigée herbacée

L'évaluation de la biomasse herbacée sur pied a été faite concomitamment avec l'inventaire floristique. Elle a consisté en une récolte intégrale des herbacées, en délimitant des aires de récolte de 1 m² (1m x 1m) au pied de chaque arbre, soit 50 cm de côté de part et d'autre du pied. La récolte est faite à 50, 100 et 150 cm de chaque côté. Les herbes sont coupées jusqu'à la base de la tige et la biomasse fraîche recueillie est immédiatement pesée. La biomasse est ensuite séchée à l'air ambiant, puis pesée à nouveau afin de déterminer la matière sèche.

3.2.3. Mesures des paramètres dendrométriques

Les mesures effectuées sur les arbres de chaque traitement ont concerné les paramètres suivants :

- le nombre d'arbres survivants par traitement en comptant simplement les individus présents dans chaque traitement ;
- le diamètre et la circonférence du tronc à 30 cm du sol, compte tenu du fait que les ramifications de *A. holosericea* commencent parfois à moins de 30 cm du sol ;
- le diamètre et la circonférence du tronc à 130 cm du sol en considérant les trois principales branches ;
- le diamètre du houppier suivant deux directions Est-Ouest et Nord-Sud, afin de dégager l'importance de la zone effectivement influencée par l'arbre, c'est-à-dire l'importance du couvert (AKPO et *al.*, 2003) ;
- la Hauteur (en cm) de chaque arbre ;
- la biomasse sèche épigée par la mesure de la biomasse foliaire (kg) et du bois (kg). La méthode utilisée est destructive et a consisté à abattre tous les arbres à l'exception de ceux de bordure, à les effeuiller ensuite et à sécher les feuilles à l'air ambiant avant le pesage.

3.2.4. Analyse du Profil de Réponse Catabolique (CRP)

3.2.4.1. Principe de la méthode

La diversité catabolique microbienne du sol a été déterminée en établissant les profils de réponse catabolique *in situ* des communautés microbiennes du sol d'après la méthode décrite par DEGENS et HARRIS (1997). Elle est basée sur une série de mesure du dégagement de CO₂ à court terme de sols incubés, après adjonction de substrats organiques simples. Les substrats (au nombre de 34 + H₂O distillée) comprennent des acides carboxyliques (à des concentrations de 100 mM), des acides aminés (15 mM), des hydrates de carbone (75 mM), des amides (15 mM) et un polymère (100 mM) (annexe 2). L'activité respirométrique du sol est proportionnelle à la quantité de matière organique dégradée par les microorganismes du sol (DEGENS et *al.*, 2000). La diversité de réaction catabolique enregistrée en présence des différents substrats permet d'établir le profil catabolique du sol. Ce profil catabolique permet, selon DEGENS (1998), d'obtenir la diversité fonctionnelle microbienne en temps réel, car il est basé sur des mesures directes de l'activité catabolique des communautés microbiennes présentes dans le sol.

3.2.4.2. Collecte des données

Les échantillons de sol au nombre de 47 dont 44 prélevés dans les trois traitements et 3 échantillons composites réalisés à partir des sols prélevés hors influence de *A. holosericea* sur des parcelles contiguës, ont été tamisés à 2 mm. Les substrats, en suspension dans 2 ml d'eau distillée stérile, sont mélangés à 1 g de sol sec dans des tubes de 10 ml. Après ajout du substrat, le mélange est immédiatement scellé et homogénéisé en secouant vigoureusement les tubes. Les tubes sont ensuite mis à incuber pendant 4 heures à température ambiante. Le dégagement de CO₂ est mesuré dans chaque tube à l'aide du respiromètre IRGA (Infra Red Gaz Analyser) Polytron IR CO₂ Dräger™ (annexe 3) La production basale de CO₂ est exprimée en $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ sol h}^{-1}$.

3.2.4.3. Expression des résultats

Il est généralement admis que la diversité catabolique microbienne peut être exprimée par la richesse catabolique et la variabilité catabolique (ZAK et *al.*, 1994 ; DEGENS et *al.*, 2000). Les données collectées ont donc servi à exprimer la **richesse catabolique** et la **variabilité catabolique** dans chaque traitement. La richesse catabolique correspond au nombre total de substrats ayant induit un dégagement de CO₂ différent de zéro. La variabilité catabolique quant à elle traduit la variation dans l'utilisation par les microorganismes d'un

substrat donné par rapport à l'ensemble des substrats (DEGENS et *al.*, 2000). Cette variabilité catabolique peut être déterminée en utilisant l'indice de *Shannon-Weaner* (BRADLEY et *al.*, 2006) : $H' = - \sum p_i \log_2 p_i$; avec p_i : la proportion de la respiration induite par un substrat dans un type de sol donné par rapport au cumul de CO₂ dégagé par tous les substrats. Cet indice est souvent accompagné de l'*Equitabilité* : $E_H = H'/\log_2(N)$; où N représente le nombre total de substrats utilisés.

3.2.5. Paramètres chimiques

Les 47 échantillons concernés par l'analyse du profil catabolique ont servi à l'analyse des paramètres chimiques du sol. Ces analyses ont été réalisées au laboratoire de chimie de l'IRD à Dakar et ont concerné la détermination :

- du pH H₂O à partir d'une suspension de sol dans l'eau par la méthode électrométrique au pH mètre à électrode de verre. Le rapport sol/solution est de 1 / 2,5. La valeur du pH KCl quand à elle, est déterminée après ajout de 3,79 g de KCl dans le mélange précédent et agité pendant 30 minutes ;

- du carbone total, dosé par la méthode de WALKEY et BLACK. Elle consiste en une oxydation à froid du carbone du sol par une solution normale de bichromate de potassium (K₂CrO₇1N) en présence d'acide sulfurique (H₂SO₄). Le bichromate de potassium transforme le carbone du sol en CO₂. La quantité de K₂CrO₇1N réduite est proportionnelle à la teneur en carbone. L'excès de bichromate est titré par le sel de MOHR (FeSO₄(NH₄)₆) en présence de diphénylamine. Les résultats tiennent compte d'un facteur de correction de 4/5 du fait de la minéralisation incomplète du carbone. Si on estime à 58 % le taux de carbone dans la MO, le taux de MO est déterminé en multipliant la teneur en C organique par 1,724 (rapport 100/58).

- de l'azote total après minéralisation par la méthode KJELDAHL. Une attaque à chaud est faite sur une prise de terre par l'acide sulfurique concentré. Après ajout d'une pincée de catalyseur sélénium, on chauffe progressivement jusqu'à la décoloration. C'est l'étape de la minéralisation qui transforme l'azote organique en azote ammoniacale (NH₄). Le NH₄ est ensuite dosé par colorimétrie automatique à l'auto analyseur SKALAR.

3.2.6. Analyses statistiques

Les données collectées ont été traitées à l'aide du tableur Excel dans sa version 2003. Les analyses de la variance (ANOVA) à un facteur contrôlé ont été réalisées à l'aide du logiciel XLSTAT pro 7.2. Le test de Student-Newman Keuls a servi à séparer les moyennes lorsque l'ANOVA révèle des différences significatives au seuil de 5%.

Chapitre IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Résultats

4.1.1. Impact de la mycorhization sur le développement de *A. holosericea*

4.1.1.1. Effet de la mycorhization sur le développement des plantules

Les résultats de l'analyse statistique portant sur les données de la production de biomasses aérienne et racinaire chez les plantules de *A. holosericea* mesurés après 4 mois de culture en serre (milieu contrôlé) sont présentés dans le tableau 1. Le tableau expose également les résultats de l'évaluation du taux de mycorhization des racines des plantules réalisée à la même période.

Tableau 1 : Effet des traitements sur le développement de *A. holosericea* après 4 mois de culture en serre

Paramètres	Traitements		
	NPK	<i>G. intraradices</i>	Témoin
Hauteur (cm)	16,8 a	16,1 a	10,7 b
Biomasse aérienne (mg poids sec)	835 a	816 a	420 b
Biomasse racinaire (mg poids sec)	452 a	430 a	236 b
Taux de mycorhization (%)	0	56	0

Source : Rapport d'évaluation à mis parcours du projet CORUS (2003)

NB : les valeurs d'une même ligne indexées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité d'après le test de Newman-Keuls.

Les résultats du tableau indiquent que la mycorhization contrôlée, de même que l'apport de NPK permettent d'accroître significativement la hauteur et la production de biomasses (aérienne et racinaires) des plantules par rapport au témoin. L'évaluation du taux de mycorhization a montré pour les plantules analysées, que le taux de mycorhization des racines était supérieur à 50 % dans le traitement avec *G. Intraradices*, tandis que ce taux est nul chez les plantules des traitements témoin et fertilisé.

Ces résultats révèlent déjà l'impact positif précoce de la mycorhization contrôlée sur le développement de *A. holosericea*. Ils attestent par ailleurs de l'efficacité de la méthode de mycorhization contrôlée utilisée. Cette méthode a en effet, permis d'obtenir un taux d'infection acceptable des racines dans le traitement concerné (traitement *G. intraradices*).

4.1.1.2. Effet de la mycorhization sur le développement des plantes *in situ*

Le tableau 2 récapitule les valeurs moyennes du taux de survie et des principaux paramètres dendrométriques de *A. holosericea* sous l'influence des différents traitements, mesurés après 4 années de plantation *in situ*. Ce tableau consigne également les résultats de l'analyse de variance réalisée à l'aide du test de Newman-Keuls à un facteur contrôlé au seuil de 5 % de probabilité.

Tableau 2 : Effet des traitements sur les paramètres dendrométriques de *A. holosericea*

Paramètres	Traitements			Pr < F	Signif.
	NPK	<i>G. intraradices</i>	Témoin		
Taux de survie (%)	80	86,67	26,67		
CT < 30 cm (cm)	33,62 ± 2,22 a	25,58 ± 1,23 b	15,83 ± 1,92 c	<0,0001	HS
CT 130 cm (cm)	16,69 ± 0,74	13,50 ± 1,09	12,00 ± 3,46	0,062	NS
DT < 30 cm (cm)	11,22 ± 0,82 a	8,81 ± 0,38 b	5,12 ± 0,85 c	0,0001	HS
DT 130 cm (cm)	5,84 ± 0,49 a	4,46 ± 0,39 b	3,39 ± 1,04 b	0,014	S
D H (cm)	340,56 ± 21,57 a	287,58 ± 16,64 b	223,00 ± 26,95 c	0,001	HS
Hauteur moyenne (cm)	477,87 ± 10,20 a	458,50 ± 22,43 a	347,67 ± 39,68b	0,005	HS
Poids feuilles (kg)	7,84 ± 0,96 a	4,44 ± 1,18 b	1,70 ± 0,24 c	0,004	HS
Poids bois (kg)	32,90 ± 5,65 a	24,64 ± 2,46 a	6,67 ± 0,33 b	0,012	S
P feuilles (mgg ⁻¹ ms)	0,058 ± 0,013	0,074 ± 0,008	0,065 ± 0,003	0,164	NS
N feuilles (gkg ⁻¹)	1,85 ± 0,095	1,92 ± 0,007	2,06 ± 0,028	0,226	NS

NB : les valeurs d'une même ligne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité d'après le test de Newman-Keuls. La valeur suivant le signe ± représente l'erreur standard. CT<30cm : circonférence du tronc à 30 cm ; CT 130 : circonférence du tronc à 130 cm ; DT<30cm : diamètre du tronc à 30 cm ; DT 130 : diamètre du tronc à 130 cm ; DH : diamètre du houppier ; Pr > F : Probabilité observée ; Signif : Niveau de signification ; S : significatif ; HS : Hautement Significatif.

L'examen du tableau permet de constater que les effets induits sur les plantules par la mycorhization et la fertilisation en condition contrôlée sont perpétués après le transfert des plants *in situ*. En effet, les résultats indiquent que les traitements *G. intraradices* et NPK influencent positivement la majorité des paramètres dendrométriques mesurés, par rapport au témoin.

L'inoculation avec *G. intraradices* accroît de 3,5 fois le taux de survie de *A. holosericea* par rapport au témoin. La fertilisation quant à elle, multiplie ce taux par 3. Tous les paramètres mesurés dans le traitement NPK sont significativement supérieurs à ceux du témoin, exception faite des paramètres CT 130 cm, P feuilles et N feuilles. L'introduction du

champignon mycorhizien exogène permet d'améliorer significativement les paramètres CT<30 cm, DT<30 cm, le Diamètre du houppier, la hauteur moyenne et les poids feuilles et bois par rapport au témoin. On retient particulièrement que la mycorhization permet d'accroître, la hauteur des arbres (+ 32 %) par rapport aux arbres témoins. La fertilisation permet d'obtenir un gain de hauteur de 37 % par rapport au témoin. La différence de hauteur n'est pas significative entre le traitement NPK et le traitement *G. intraradices*.

Outre l'amélioration du taux de survie et de la croissance des plants, *G. intraradices* a permis de multiplier par 4 et par 2 respectivement les productions de biomasses ligneuse et foliaire par rapport au traitement témoin. Nos résultats montrent toutefois, que *G. intraradices* ne favorise pas l'amélioration significative des teneurs en phosphore et en azote des feuilles (P et N feuilles) par rapport au témoin, tout comme le traitement NPK.

4.1.2. Impact des traitements sur la diversité floristique herbacée

4.1.2.1. Effet des traitements sur la structure et la diversité des herbacées

Le tableau 3 présente les caractéristiques floristiques de la végétation herbacée établie sur la base de l'inventaire par la méthode des points contacts. La liste des espèces et de leur famille par traitement est présentée en annexe 4. RSM et FSiM désignent respectivement la richesse spécifique moyenne et la fréquence spécifique moyenne des espèces.

Tableau 3 : Effet des traitements sur les indices de richesse et de diversité écologique de la végétation herbacée

Paramètres	Traitements			Pr > F	Signif.
	Témoin	NPK	<i>G. intraradices</i>		
Nombre d'espèces	24	33	27		
RS M	15	16	16	0,45	NS
FSi M	154 ± 3,94 a	133 ± 16 b	128 ± 12,8 b	0,03	S
Indice de Shannon-Weaver (H')	3,00 ± 0,09	3,10 ± 0,09	3,17 ± 0,12	0,53	NS
Equitabilité (E _{H'})	0,57 ± 0,02	0,59 ± 0,02	0,60 ± 0,02	0,53	NS
Indice de Hill (Hill)	0,30 ± 0,01	0,30 ± 0,01	0,28 ± 0,02	0,50	NS

NB : les valeurs d'une même ligne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité d'après le test de Newman-Keuls. La valeur suivant le signe ± représente l'erreur standard. Pr > F : Probabilité observée ; Signif : Niveau de signification ; NS : Non significatif ; S : significatif.

La liste floristique établie à l'issue de l'inventaire comprend 24, 27 et 33 espèces, respectivement pour les traitements Témoin, *G. intraradices* et NPK. Les Poacées sont la famille la plus représentée. Aucune différence n'a été notée entre les traitements, en ce qui concerne la richesse spécifique moyenne (RS M). Par contre, les fréquences moyennes des espèces (FSi M), varient significativement en fonction des traitements. En effet, l'examen du cortège floristique à travers l'analyse des fréquences et des contributions spécifiques révèle que le traitement témoin enregistre en moyenne le plus grand nombre de contacts avec une FSi M = 154. Il est suivi du traitement NPK (FSi M = 133) et du traitement avec *G. intraradices* (FSi M = 128). On note par ailleurs la présence d'espèces communes dominantes dans tous les traitements. Ainsi, *Brachiaria lata*, *Pennisetum pedicellatum*, *Setaria pallidifusca*, *Spermacoce radiata* et *Zornia glochidiata* dominent la strate herbacée dans les trois traitements. *Zornia glochidiata* est l'espèce la mieux représentée, avec une CSi de 31% dans le témoin et de 26% dans les traitements NPK et mycorhizé (annexe 5). En plus de ces espèces dominantes, on rencontre des légumineuses telles que *Acaia nilotica*, *Alisicarpus ovalifolius*, *Cassia tora*, *Cassia nigricans*, *Crotalaria retusa* et *Stylosanthes hamata*, à des fréquences moindres (leur CSi M n'excède pas 1%).

Le test de Student Newman-Keuls, réalisé sur l'ensemble des indices de diversité ne montre pas de différence significative entre les traitements au seuil de 5 %. La présence de *G. intraradices* ne modifie donc pas significativement la diversité des communautés herbacées associées à *A. holosericea*. Il en est de même pour l'apport de NPK.

4.1.2.2. Effets sur la production de biomasse épigée herbacée

Des différences significatives sont, en revanche constatées en ce qui concerne l'impact des traitements et de la position par rapport à l'arbre sur la production de biomasse sèche épigée des herbacées (figures 5a et 5b).

La figure 5a montre que la production moyenne de matière sèche épigée dans le traitement témoin est 2 fois supérieure à celle produite dans les traitements fertilisé (NPK) et mycorhizé (*G. intraradices*). Au niveau de chaque traitement (figure 5b), la biomasse sèche épigée produite augmente de façon générale au fur et à mesure que l'on s'éloigne du pied de *A. holosericea* (50cm > 100 cm > 150 cm). Dans le traitement témoin, la production de biomasse sèche à 50 cm du tronc est 3 fois inférieure à celles de 100 et 150 cm. Dans les deux autres traitements, celle produite à 50 cm n'est pas significativement différente de celle produite à 100 cm. La différence ne devient significative qu'à 150 cm du tronc, atteignant dans le traitement mycorhizé, 5 fois celle produite à 50 cm.

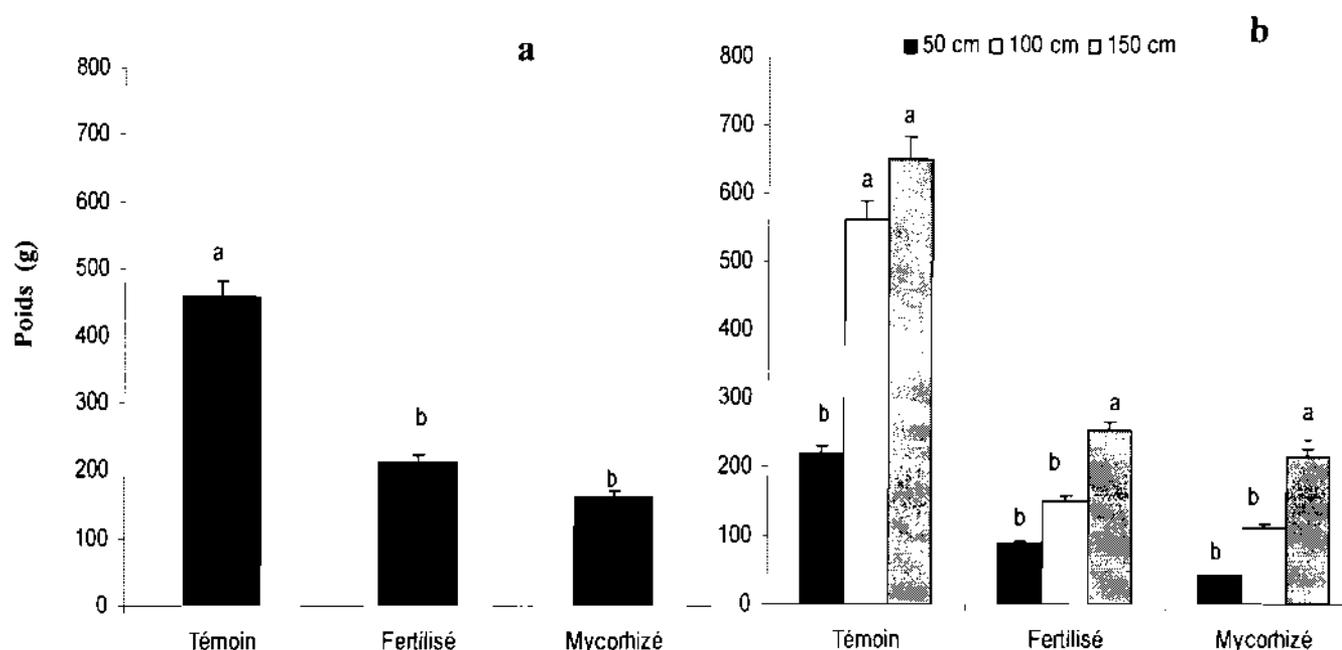


Figure 5 : Production de biomasse sèche épigée herbacée, a) en fonction des traitements et b) en fonction de la distance par rapport à l'arbre.

Les groupes d'histogrammes du même traitement affectés de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de probabilité de 5% d'après le test de Newman-Keuls

4.1.3. Impact de la mycorhization sur les paramètres chimiques du sol

4.1.3.1. Effet de *A. holosericea* seul sur les paramètres chimiques du sol

Les résultats de l'analyse statistique portant sur les données des paramètres chimiques des sols prélevés dans les parcelles avec et sans *A. holosericea* (tableau 4) indiquent que la présence de l'arbre seul permet d'accroître significativement le C total et le rapport C/N du sol en comparaison du sol des parcelles juxtaposées (parcelles sans *A. holosericea*).

Tableau 4 : Effet de *A. holosericea* seul sur les paramètres chimiques des sols

Traitements	pH H ₂ O	pH KCl	C total (g kg ⁻¹)	N total (g kg ⁻¹)	C/N
T	5,50 ±0,11 a	4,90 ±0,03 a	5,77 ±0,02 a	0,41 ± 0,00a	14,29 ±0,24 a
T0	5,30 ±0,28 a	5,06 ± 0,19 a	4,7 ±0,06 b	0,42 ±0,01a	11,39 ±0,20 b
Pr > F	0,54	0,19	0,05	0,08	0,04
Signif.	NS	NS	S	NS	S

NB : les valeurs d'une même colonne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité d'après le test de Newman-Keuls. La valeur suivant le signe ± représente l'erreur standard. T : témoin sous influence de *A. holosericea* mais sans inoculation ni fertilisation ; T0 : témoin absolu hors influence de l'arbre ; Pr > F : Probabilité observée ; Signif : Niveau de signification ; NS : non significatif ; S : significatif.

On constate que la présence de *A. holosericea* seul permet d'élever de 34 % la teneur en carbone total du sol par rapport au sol sans arbre. Cependant, on remarque dans le même temps que l'introduction de la légumineuse *A. holosericea* seul sur les parcelles ne s'est pas accompagnée d'une modification significative de la teneur en azote total du sol. Ce qui fait que le rapport C/N estimé dans ces parcelles est significativement plus élevé ($P < 0,04$) que sur les sols prélevés à proximité. Les résultats montrent également que le pH du sol ne varie pas significativement d'un traitement à l'autre.

4.1.3.2. Effet des traitements sur les paramètres chimiques du sol

Les résultats de l'analyse de variance effectuée sur les paramètres chimiques du sol dans les autres traitements (tableau 5), révèlent des différences hautement significatives au seuil de 5 % ($p < 0,0001$) entre les différents traitements. On note à ce niveau que, en plus des paramètres C total et C/N, la mycorhization de *A. holosericea* affecte significativement les paramètres pH et N total du sol par rapport au sol avec *A. holosericea* sans mycorhization ni fertilisation.

Tableau 5 : Effet des traitements sur les caractéristiques chimiques du sol

Paramètres	Traitements			Pr > F	Signif.
	Témoin	<i>G. intraradices</i>	NPK		
pH H ₂ O	5,50 ± 0,11 b	5,77 ± 0,10 a	5,59 ± 0,05 b	0,0001	HS
pH KCl	4,90 ± 0,03 b	5,45 ± 0,11 a	4,99 ± 0,05 b	<0,0001	HS
C total (g kg ⁻¹)	5,77 ± 0,02 b	6,69 ± 0,03 a	6,82 ± 0,04 a	0,0001	HS
N total (g kg ⁻¹)	0,41 ± 0,00 b	0,50 ± 0,00 a	0,51 ± 0,00 a	<0,0001	HS
C/N	14,29 ± 0,24 a	13,36 ± 0,18 b	13,34 ± 0,13 b	0,0001	HS

NB : les valeurs d'une même ligne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité d'après le test de Newman-Keuls. La valeur suivant le signe ± représente l'erreur standard. Pr > F : Probabilité observée ; Signif : Niveau de signification ; HS : HS : Hautement Significatif.

On note que la mycorhization contrôlée de *A. holosericea* s'accompagne d'une baisse concomitante du pH du sol et d'une augmentation des niveaux de carbone et d'azote totaux du sol par rapport au sol sous *A. holosericea* seul. Le pH H₂O du sol avec *G. intraradices* diminue de 7 % et 3 % respectivement par rapport au témoin et au traitement NPK et le pH KCl de 11 % et 9 %. Les valeurs du pH reflètent dans leur ensemble une faible acidité des sols.

La teneur en carbone total du sol augmente de 15 % par rapport au témoin (*A. holosericea* seul) suite à l'inoculation. Cette teneur n'est pas significativement différente de celle obtenue avec apport de NPK. Il en est de même pour la teneur en azote total du sol qui s'est accrue de 22 % par rapport au témoin, alors qu'elle est statistiquement identique à celle enregistrée au niveau du traitement fertilisé. Le rapport C/N du témoin est significativement élevé ($P < 0,0001$) par rapport à celui observé dans les deux autres traitements.

4.1.3.3. Effet de la position par rapport à *A. holosericea* sur les paramètres chimiques du sol

Les résultats donnant par traitement la variation des paramètres chimiques du sol en fonction de la position par rapport à *A. holosericea* sont consignés dans le tableau 6.

Dans le traitement témoin, les analyses de variances révèlent qu'à l'exception du pH KCl, tous les paramètres chimiques du sol ne varient pas significativement avec la position par rapport au pied de *A. holosericea*. Le pH KCl à 0 cm du pied est significativement inférieur à celui situé à 150 cm. Sa valeur reste constante entre 50 et 100 cm du tronc.

En revanche, en dehors du rapport C/N, la position influence tous les paramètres chimiques du sol dans le traitement *G. intraradices*. Les valeurs des pH H₂O et KCl du sol à 0 cm du tronc sont inférieures à celles des sols situés à 150 cm (pour le pH H₂O) et à 100 et 150 cm (pour le pH KCl). Les teneurs en carbone et en azote évoluent en sens inverse de la valeur du pH. En effet, on constate que les teneurs en carbone et en azote du sol à 0 cm du tronc sont significativement supérieures à celle des autres positions. Elles sont de 37 % et 34 % supérieures à celles de 50 cm, respectivement pour les teneurs en carbone et en azote totaux. Ces teneurs ne sont plus significativement différentes à partir de cette distance.

Les mêmes tendances sont quasiment observées avec le traitement NPK en ce qui concerne les paramètres pH KCl, carbone total et azote total. La teneur en carbone total du sol diminue de 32 % entre 0 et 50 cm, tout comme la teneur en azote total (29 %). Leurs valeurs n'évoluent plus significativement à partir de cette distance. Le pH KCl varie en sens contraire. Il augmente significativement à partir de 50 cm. Aucune différence significative n'a été observée en rapport avec la variation du pH H₂O en fonction de la distance dans ce traitement ; il en est de même pour les valeurs du rapport C/N.

Tableau 6 : Effet de la distance par rapport à *A. holosericea* sur les paramètres chimiques du sol

Traitements	Distance	pH H ₂ O	pH KCl	C total (g kg ⁻¹)	N total (g kg ⁻¹)	C/N
Témoin	0	5,50 ±0,11	4,76 ±0,03 b	6,29 ±0,00	0,47 ±0,03	13,62 ±0,71
	50	5,49 ±0,03	4,89 ±0,05 ab	5,36 ±0,00	0,36 ±0,03	14,79 ±0,46
	100	5,58 ±0,01	4,94 ±0,05 ab	5,60 ±0,00	0,40 ±0,03	14,14 ±0,46
	150	5,69 ±0,07	4,99 ±0,05 a	5,83 ±0,00	0,40 ±0,03	14,60 ±0,15
	<i>Pr >F</i>	0,45	0,04	0,17	0,18	0,36
	<i>Signif.</i>	NS	S	NS	NS	NS
<i>G. intraradices</i>	0	5,36 ±0,15 b	5,01 ±0,16 b	8,34 ±0,00 a	0,63 ±0,08 a	13,18 ±0,38
	50	5,69 ±0,16 ab	5,33 ±0,13 ab	6,1 ±0,00 b	0,47 ±0,05 b	13,26 ±0,23
	100	5,96 ±0,20 ab	5,67 ±0,21 a	6,3 ±0,00 b	0,46 ±0,03 b	13,47 ±0,39
	150	6,09 ±0,13 a	5,79 ±0,014 a	6,0 ±0,00 b	0,45 ±0,05 b	13,44 ±0,51
	<i>Pr >F</i>	0,03	0,02	0,01	0,005	0,94
	<i>Signif.</i>	S	S	HS	HS	NS
NPK	0	5,19 ±0,13	4,77 ±0,07 b	8,58 ±0,0 a	0,62 ±0,10 a	13,72 ±0,27
	50	5,33 ±0,09	4,92 ±0,08 ab	6,50 ±0,00 b	0,48 ±0,03 b	13,67± 0,17
	100	5,52 ±0,07	5,16 ±0,08 a	6,35 ±0,00 b	0,48 ±0,03 b	13,16 ±0,13
	150	5,44 ±0,07	5,10 ±0,08 a	5,88 ±0,00 b	0,46 ±0,03 b	12,90 ±0,27
	<i>Pr >F</i>	0,12	0,01	0,03	0,04	0,10
	<i>Signif.</i>	NS	HS	S	S	NS

NB : les moyennes d'une même ligne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité d'après le test de Newman-Keuls. La valeur suivant le signe ± représente l'erreur standard. *Pr > F* : Probabilité observée ; *Signif* : Niveau de signification ; *NS* : Non significatif ; *S* : significatif ; *HS* : Hautement Significatif.

4.1.4. Analyse du Profil de Diversité Catabolique (CRP)

4.1.4.1. Effet de *A. Holosericea* seul

La figure 6 présente les quantités moyennes de CO₂ dégagé dans les sols avec *A. holosericea* seul (T) et sans *A. holosericea* (T0) par suite de l'adjonction des différents groupes de substrats.

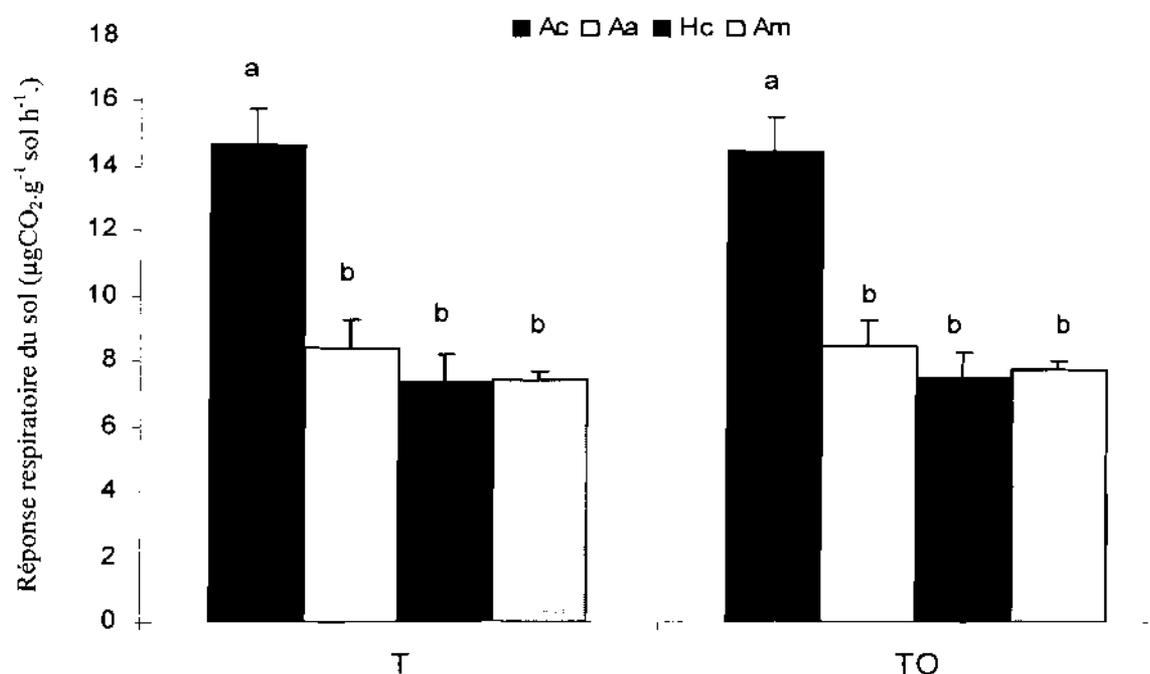


Figure 6 : Dégagement moyen de CO₂ par groupe de substrat et par traitement

Les groupes d'histogrammes du même traitement affectés de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de probabilité de 5% d'après le test de Newman-Keuls. Ac : Acides carboxyliques ; Aa : Acides aminés ; Hc : Hydrates de carbone ; Am : Amides.

L'observation de ce graphe montre que dans les deux types de sols (T et T0), les acides carboxyliques sont le groupe de substrats qui induit significativement les dégagements moyens de CO₂ les plus élevés, par rapport aux autres groupes. Les quantités moyennes de CO₂ dégagé avec les autres groupes de substrats ne sont pas significativement différentes entre elles. On constate de façon générale que les différents groupes de substrats induisent statistiquement les mêmes quantités de CO₂ dégagé dans les deux traitements ; ce qui signifie que l'activité respiratoire dans le sol est similaire dans ces deux types de sol. La présence de *A. holosericea* seul n'affecte donc pas significativement les capacités fonctionnelles des communautés microbiennes du sol, comparativement au sol sans *A. holosericea*.

Le tableau 7 présente les résultats de l'analyse statistique des indices de diversité et de richesse catboliques, de même que celui des quantités cumulées CO₂ dégagé. Les résultats

consignés dans ce tableau corroborent l'absence d'effets significatifs induits par la présence de l'essence exotique (*A. holosericea*) sur l'activité fonctionnelle dans le sol.

Tableau 7 : Impact de *A. holosericea* sur le profil de diversité catabolique du sol

Traitements	H'	E _{H'}	RC	Cumul CO ₂ ($\mu\text{gCO}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{sol h}^{-1}$)
T	3,04 ±0,04	0,86 ±0,01	26 ±1,86	356 ±9,95
T0	2,90 ±0,22	0,82 ±0,06	30 ±1,53	480 ±39,87
Pr > F	0,57	0,57	0,20	0,24
Signif.	NS	NS	NS	NS

NB : les moyennes d'une même ligne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité d'après le test de Newman-Keuls. La valeur suivant le signe ± représente l'erreur standard. **Pr > F** : Probabilité observée ; **Signif** : Niveau de signification ; **NS** : Non significatif ; **S** : significatif. **Ac** : Acides carboxyliques ; **Aa** : Acides aminés ; **Hc** : Hydrates de carbone ; **Am** : Amides.

L'examen du tableau fait ressortir que la présence de *A. holosericea* seul n'influence pas significativement les indices de diversité catabolique (H', E_{H'}) et la richesse catabolique (RC) dans le sol par rapport au sol sans arbre. Par ailleurs, l'analyse statistique des quantités cumulées de CO₂ dégagé n'indique pas non plus de différence significative entre les deux types de sols.

4.1.4.2. Effet de la mycorhization sur les quantités de CO₂ dégagé par groupe de substrats

La **figure 6** compare les valeurs moyennes de CO₂ dégagé par groupe de substrat et par traitement. La séparation des moyennes d'après le test de Student Newman-Keuls révèle des différences significatives ($p < 0,01$) au seuil de 5 %, entre les quantités moyennes de CO₂ dégagé.

L'examen de cette figure montre que la mycorhization contrôlée et la fertilisation suscitent des réactions différentes de la part des microorganismes du sol, suite à l'ajout des différents groupes de substrats. En effet, hormis les acides carboxyliques qui sont ici également significativement mieux métabolisés dans tous les traitements, on note que l'utilisation des autres groupes de substrats diffère selon les traitements.

Ainsi, on note que les amides induisent significativement plus de dégagement de CO₂ dans le traitement mycorhizé et fertilisé par rapport au témoin. Les acides aminés quant à elles, induisent les mêmes dégagements de CO₂ dans les trois traitements. Par contre, les

hydrates de carbone donnent moins de dégagement de CO₂ dans le traitement mycorhizé que dans les autres traitements.

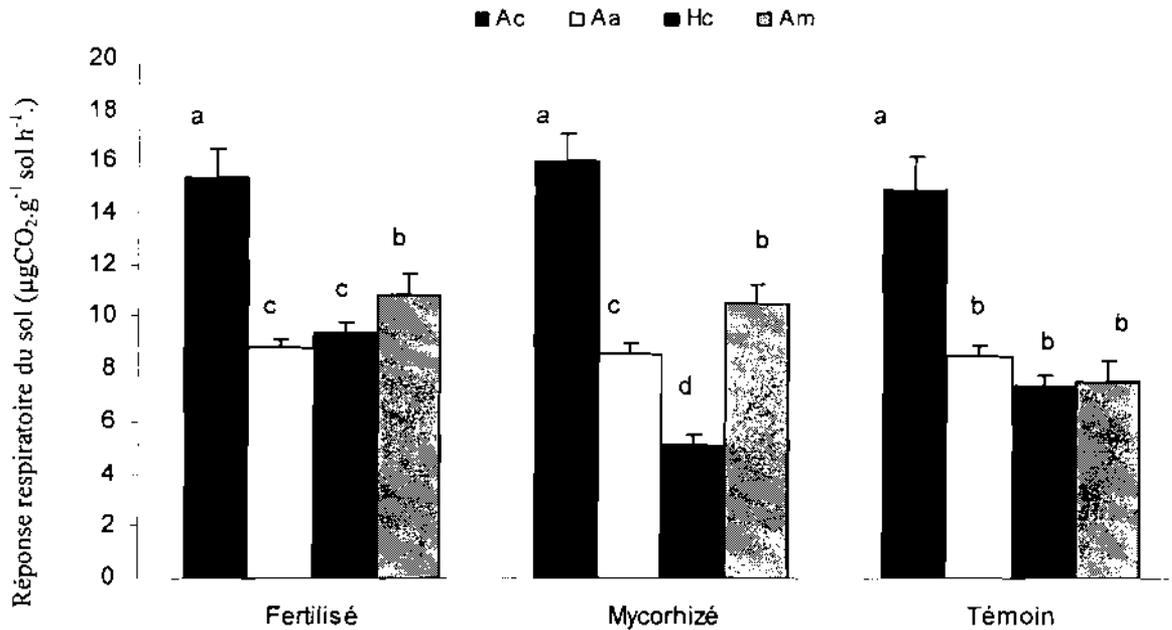


Figure 7 : Comparaison du dégagement moyen de CO₂ par groupe de substrat et par traitement

Les groupes d'histogrammes du même traitement affectés de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de probabilité de 5% d'après le test de Newman-Keuls. Ac : Acides carboxyliques ; Aa : Acides aminés ; Hc : Hydrates de carbone ; Am : Amides.

Ces résultats attestent que la mycorhization contrôlée modifie significativement l'activité catabolique des communautés microbiennes présentes dans le sol. On constate par ailleurs, que la fertilisation minérale introduit une hétérogénéité dans l'activité fonctionnelle du sol différente des deux autres traitements.

L'analyse de la réponse respiratoire engendrée par l'ajout des 34 substrats individuels (figure 8) permet de se rendre compte de la variabilité dans l'activité de métabolisme des microorganismes du sol des différents traitements. Le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % permet de séparer les traitements qui influencent significativement la quantité de CO₂ dégagé suite à l'apport de chaque substrat. Les résultats de l'analyse statistique par substrat et par traitement sont présentés en annexe 6. Cette hétérogénéité dans l'utilisation des substrats individuels est à l'origine des différences significatives constatées dans l'analyse des moyennes de CO₂ dégagé par groupes de substrats (confère figure 7). La diversité de réaction catabolique enregistrée en présence des différents substrats permet ainsi d'établir le profil de réponse catabolique du sol.

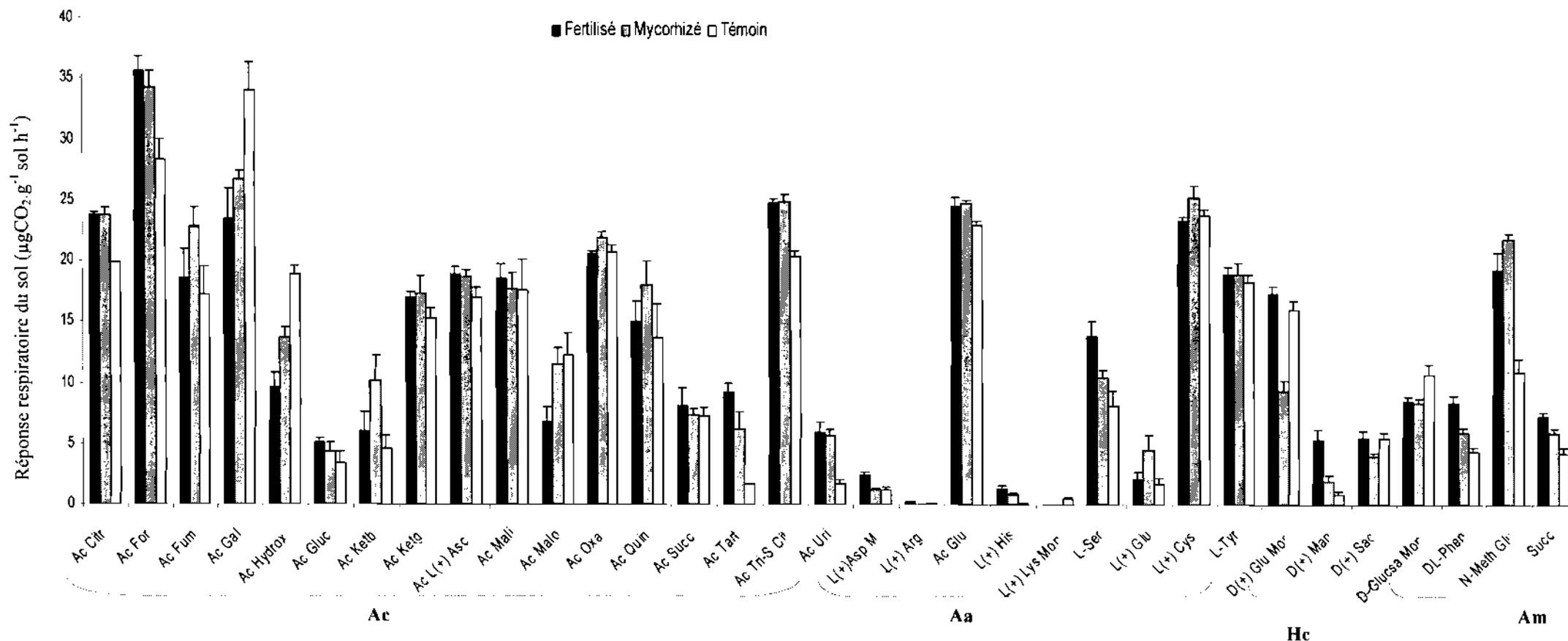


Figure 8 : Réponse catabolique des sols par suite de l'addition des substrats individuels

Ac : Acides carboxyliques ; **Aa** : Acides aminés ; **Hc** : Hydrates de carbone ; **Am** : Amides.

Ac Citr : Acide citrique ; Ac For : Acide formique ; Ac Fum : Acide fumarique ; Ac Gal : Acide gallique ; Ac Hydrox : Acide Hydroxybutyrique ; Ac Gluc : Acide gluconique ; Ac Ketb : Acide ketobutyrique ; Ac Ketg : Acide ketoglutarique ; Ac L(+)-Asc : Acide L(+)-ascorbique ; Ac Mali : Acide malique ; Ac Malo : Acide malonique ; Ac Oxa : Acide Oxallique ; Ac Quin : Acide quinique ; Ac Succ : Acide Succinique ; Ac Tart : Acide tartrique ; Ac Tri-S Cit : Acide tri-sodium citrate ; Ac Uri : Acide urique ; L(+)-Asp M : L(+)-asparagine monohydrate ; L(+)-Arg : L(+)-Arginine ; Ac Glu : L(+)-Acide glutamique ; L(+)-His : L(+)-Histidine ; L(+)-Lys Mon : L(+)-Lysine monohydrate ; L-Ser : L-Serine ; L(+)-Glu : L(+)-Glutamine ; L(+)-Cys : L(+)-Cystéine ; L-Tyr : L-Tyrosine ; D(+)-Glu Mon : D(+)-Glucose monohydrate ; D(+)-Man : D(+)-Manose ; D(+)-Sac : D(+)-Saccharose ; D-Glucsa Mon : D-Glucosamine hydrochloride ; DL-Phen : DL-phénylalanine ; N-Meth Glu : N-Méthyl D Glucamine ; Succ : Succinamide.

NB : les groupes d'histogrammes du même substrat affectés de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de probabilité de 5% d'après le test e Newman-Keuls.

Dans le groupe des acides carboxyliques, les dégagements moyens de CO₂ dans les traitements NPK et *G. intraradices* sont supérieurs au témoin avec les sept substrats que sont : l'acide citrique, l'acide formique, l'acide fumarique, l'acide ketobutyrique, l'acide tartrique, l'acide tri-sodium citrate et l'acide urique. Le témoin quant à lui, enregistre des dégagements de CO₂ significativement supérieures aux deux autres traitements avec l'ajout des acides gallique, hydroxybutyrique et malonique. Les sept autres substrats ne provoquent pas un dégagement de CO₂ différent entre les traitements.

Au niveau des acides aminés : l'arginine, le L (+) acide glutamique, la glutamine, la cystéine et la tyrosine ne permettent pas de distinguer les traitements dans leur réponse catabolique. L'asparagine, l'histidine et la serine quant à elles, induisent un dégagement de CO₂ significativement supérieur au témoin dans le traitement NPK. La réponse induite au niveau du témoin est supérieure aux deux autres traitements avec la Lysine monohydrate.

Tous les substrats engendrent des réponses variables dans les autres groupes. *G. intraradices* enregistre les plus faibles réponses dans le groupe des hydrates de carbone. Et dans une moindre mesure dans celui des amides, excepté avec le N-Méthyl glucosamine et le Succinamide.

4.1.4.3. Effet de la mycorhization sur la diversité fonctionnelle des sols

L'analyse statistique des indices de diversité (H' et E_{H'}) confirme la variabilité de l'activité fonctionnelle du sol d'un traitement à l'autre (Tableau 8). Ainsi, l'indice de Shannon-Weaner et l'Equitabilité présentent des valeurs significativement plus élevées (P < 0,000) dans les traitements NPK et *G. intraradices* par rapport au témoin. Même si dans le même temps, les résultats indiquent une richesse catabolique (RC) statistiquement similaire (P = 0,41). Les cumuls de CO₂ dégagé témoignent également d'une activité microbienne intense et statistiquement significative (P < 0,0001) dans les traitements NPK et *G. intraradices* en comparaison du sol Témoin.

Ces résultats confirment le fait que l'inoculation avec *G. intraradices* introduit une hétérogénéité dans l'activité catabolique des microorganismes du sol par rapport à un sol n'ayant pas été inoculé. On note que *G. intraradices* engendre une diversité fonctionnelle du sol statistiquement similaire à celle obtenue suite à l'incorporation d'éléments nutritifs (NPK) directement dans le sol.

Tableau 8 : Analyse des indices de diversité, de la richesse catabolique et du cumul de CO₂ en fonction des traitements

Traitement	Indices de diversité fonctionnelle		RC	Cumul CO ₂ (µgCO ₂ .g ⁻¹ sol h ⁻¹)
	H'	E _{H'}		
Témoin	4,47 ± 0,02 b	0,87 ± 0,00 b	28 ± 0,27	382,94 ± 28,17 b
<i>G. intraradices</i>	4,56 ± 0,02 a	0,89 ± 0,00 a	29 ± 0,27	428,23 ± 25,75 a
NPK	4,59 ± 0,02 a	0,90 ± 0,00 a	29 ± 0,33	424,75 ± 29,65 a
Pr > F	0,000	0,000	0,41	0,0001
Signif	HS	HS	NS	HS

NB : les moyennes d'une même colonne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité d'après le test de Newman-Keuls. La valeur suivant le signe ± représente l'erreur standard. RC : Richesse Catabolique ; H' : indice de Shannon-Wiener ; E_{H'} : Equitabilité ; RC : Richesse Catabolique ; Pr > F : Probabilité observée ; Signif : Niveau de signification ; HS : Hautement Significatif ; NS : Non Significatif.

4.1.4.4. Effet de la position par rapport au tronc de *A. holosericea* sur la réponse catabolique du sol

Il s'agit ici de mettre en exergue une hétérogénéité spatiale dans l'activité fonctionnelle du sol suivant un transect allant du tronc de *A. holosericea* jusqu'à une distance de 150 cm du tronc. L'analyse de la réponse par groupe de substrat et de l'indice de Shannon-Weaner (Tableau 9), révèle des différences significatives au seuil de 5 %. Le tableau montre que les hydrates de carbones sont différemment métabolisés suivant la distance par rapport à *A. holosericea* dans tous les traitements.

Au niveau du témoin, les réponses respiratoires des microorganismes du sol suite à l'ajout des autres groupes de substrats, de même que l'indice de diversité fonctionnelle analysé et la richesse catabolique ne varient pas significativement en fonction de la distance. La réponse microbienne du sol suite à l'apport des hydrates de carbone est significativement plus élevée à 50 cm du tronc et dans une moindre mesure à 0 cm et 150 cm. La plus faible réponse étant enregistrée à 100 cm avec une valeur moyenne de CO₂ dégagée de 6,10 µgCO₂.g⁻¹ sol h⁻¹.

Dans le traitement NPK, on enregistre une réponse significative entre les différentes distances dans le groupe des hydrates de carbone, tout comme au niveau du traitement témoin. A ce niveau par contre, l'indice de Shannon-Weaner et la richesse catabolique (RC) varient significativement avec la distance. Leurs valeurs augmentent au fur et à mesure que l'on se rapproche du tronc de *A. holosericea*.

Tableau 9 : Réponse catabolique du sol suivant la position par rapport au tronc de *A. holosericea*

Traitements	Distance	Ac	Aa	Hc	Am	RC	H'	Cumul CO ₂	
Témoin	0	13,70 ± 0,33	6,85 ± 0,53	7,67 ± 0,6 ab	6,19 ± 1,23	26,33	3,04 ± 0,04	363,56 ± 9,95	
		15,73 ± 1,16	8,77 ± 0,73	8,39 ± 0,23 a	7,81 ± 1,29		31,3		3,15 ± 0,03
	100	14,26 ± 0,43	7,680 ± 0,41	6,10 ± 0,20 b	7,53 ± 0,59	29,67		3,09 ± 0,01	402,00 ± 7,84
		15,33 ± 1,02	7,30 ± 0,11	7,36 ± 0,57 ab	8,54 ± 0,59		30,00	3,11 ± 0,03	
		<i>Pr > F</i>	0,33	0,13	0,04	0,44		0,15	0,14
		<i>Signif.</i>	NS	NS	S	NS	NS	NS	NS
<i>G. intraradices</i>	0	15,13 ± 0,31 b	8,89 ± 0,6	6,51 ± 0,56 a	11,26 ± 0,6	30	3,16 ± 0,02	408,42 ± 9,43	
		15,25 ± 0,57 b	8,87 ± 0,64	4,56 ± 0,69 b	9,75 ± 0,24		29,5		3,12 ± 0,03
	100	17,04 ± 0,41 a	7,97 ± 0,41	4,42 ± 0,53 b	10,30 ± 0,53	30,25		3,18 ± 0,01	434,20 ± 9,93
		16,73 ± 0,31 a	8,74 ± 0,20	4,83 ± 0,35 b	10,67 ± 0,13		30,25	3,17 ± 0,01	
		<i>Pr > F</i>	0,012	0,53	0,05	0,13		0,70	0,19
		<i>Signif.</i>	S	NS	S	NS	NS	NS	NS
NPK	0	15,18 ± 0,54	9,07 ± 0,32	11,76 ± 0,75 a	10,72 ± 1,43	30,75 a	3,21 ± 0,01 a	430,67 ± 18,16	
		16,03 ± 0,65	9,44 ± 0,39	8,76 ± 1,08 b	11,21 ± 0,29		31,25 a		3,21 ± 0,02 a
	100	16,20 ± 0,91	9,07 ± 0,65	8,98 ± 0,18 b	11,21 ± 0,37	30,75 a		3,18 ± 0,03 ab	433,28 ± 24,38
		14,25 ± 0,30	7,64 ± 0,54	8,04 ± 0,76 b	10,28 ± 0,62		28,25 b	3,13 ± 0,01 b	
		<i>Pr > F</i>	0,172	0,099	0,02	0,827		0,006	0,035
		<i>Signif.</i>	NS	NS	S	NS	HS	S	NS

NB : les moyennes d'une même colonne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité d'après le test de Newman-Keuls. **Ac** : Acides carboxyliques ; **Aa** : Acides aminés ; **Hc** : Hydrates de carbone ; **Am** : Amides ; **RC** : Richesse Catabolique ; **H'** : indice de Shannon-Wiener ; *Pr > F* : Probabilité observée ; *Signif.* : Niveau de signification ; **S** : Significatif ; **NS** : Non Significatif ; **HS** : Hautement Significatif.

En plus des hydrates de carbone, les quantités de CO₂ dégagé varient significativement avec l'ajout des acides carboxyliques suivant la distance, en présence de *G. intraradices*. A ce niveau, on note que la respiration induite par l'ajout des acides carboxyliques augmente significativement à mesure que l'on s'éloigne du tronc de l'arbre (à 100 et 150 cm), tandis que avec les hydrates de carbone, on observe la tendance inverse. La distance de 0 cm enregistre dans ce dernier cas une valeur de CO₂ dégagée plus élevée (6,51 µgCO₂.g⁻¹sol h⁻¹) que dans les

trois autres. Il faut cependant noter que les quantités cumulées CO₂ dégagé ne varient pas significativement entre les distances dans tous les traitements.

4.1.5. Relation entre profil catabolique et paramètres chimiques du sol

Le tableau 10 présente les différentes valeurs du coefficient de corrélation de Pearson entre les caractéristiques chimiques du sol et les données des Profils de Réponse Catabolique (CRP). Il s'agit ici d'établir les relations qui existent entre les paramètres chimiques du sol et les réponses respiratoires des microorganismes du sol. Rappelons que l'activité respirométrique du sol est proportionnelle à la quantité de matière organique dégradée par les microorganismes du sol. Les résultats significatifs sont donnés au seuil $\alpha = 5\%$.

Tableau 10 : Coefficient de corrélation de Pearson indiquant les relations existant entre le C, N, P et les données du profil catabolique au seuil de 5 %

PARAMETRES CHIMIQUES	Traitements	Ac	Aa	Hc	Am	RC	H'
Témoin	Carbone	- 0,09	- 0,64	- 0,05	- 0,71	- 0,52	- 0,59
	Azote	- 0,63	- 0,12	- 0,03	- 0,66	- 0,52	- 0,61
<i>G. intraradices</i>	Carbone	- 0,22	- 0,31	0,55	0,47	- 0,12	- 0,03
	Azote	- 0,24	0,27	0,54	0,51	- 0,03	0,16
NPK	Carbone	0,01	0,14	0,73	- 0,48	0,14	0,17
	Azote	0,04	0,11	0,73	- 0,44	0,11	0,14

NB : Les valeurs en gras sont significatives au seuil $\alpha = 0,05$ d'après le test de similarité/dissimilarité de Pearson.

Les résultats montrent qu'il n'existe pas de corrélation positive entre les différents paramètres chimiques du sol et les données du profil de diversité catabolique au niveau du traitement témoin. Des corrélations positives et significatives ($p < 0,05$) sont en revanche observées avec *G. intraradices* et NPK. Ainsi, en présence de *G. intraradices* les teneurs en carbone et en azote du sol sont significativement corrélées avec la quantité de CO₂ dégagée par les microorganismes suite à l'ajout des hydrates de carbone. La teneur en azote est également corrélée (R de Pearson = 0,51, $P > 0,05$) avec la quantité de CO₂ dégagée suite à l'adjonction des acides aminés. Ce qui signifie qu'en présence de *G. intraradices*, la richesse en carbone et azote du sol déterminent le niveau de métabolisation des hydrates de carbone et des amides. Au niveau du traitement NPK, le N et le C sont significativement corrélés aux hydrates de carbone, avec des coefficients de corrélation de Pearson de 0,73 de part et d'autre.

4.2. Discussion

4.2.1. Effet de *G. intraradices* sur le taux de survie, le développement et la production de matière sèche (MS) épigée chez *A. holosericea*

Nos résultats révèlent que la mycorhization contrôlée accroît la hauteur et la biomasse des plantules et réduit significativement le taux de mortalité (87 %) chez *A. holosericea* par rapport au Témoin (27 %). Des résultats concordants ont été obtenus, tant avec des endomycorhizes que des ectomycorhizes. DUPONNOIS et al. (2005a) ont obtenu plus de 80 % de taux de survie chez *A. holosericea* avec *P. albus* (ectomycorhize). Et CORNET et al. (1982) sont parvenus à 100 % de taux de survie avec *G. mosseae* (endomycorhize) toujours chez *A. holosericea*. Les principales justifications avancées par ces auteurs sont que l'inoculation précoce confère une vigueur aux plantules et leur permet de profiter précocement des avantages (nutritionnel et de protection) octroyés par la symbiose mycorhizienne. Ce qui expliquerait leur plus grande résistance par rapport aux plantes non mycorhizées. *A. holosericea* est d'ailleurs habituellement considéré comme une espèce à endomycorhizes dépendante (REDDELL et WARREN, 1987). Nos résultats montrent que ces avantages sont perpétués dans le temps. Des résultats analogues ont été obtenus suite à l'inoculation d'espèces locales telles que *A. albida* (BA et GUISSOU, 1996), *T. indica* et *Z. mauritiana* (BA et al., 2001).

Selon GUEYE (1992), la formation de complexes tripartites grâce à l'introduction des champignons mycorhiziens engendre une amélioration considérable de la croissance et de la production de matière sèche chez les légumineuses. Nos résultats, conformément à ceux de nombreux travaux antérieurs obtenus avec *G. intraradices* et *A. holosericea* (DUPONNOIS et PLENCHETTE, 2003 ; DUPONNOIS et al., 2005a), corroborent ces observations. L'inoculation avec *G. intraradices* a en effet permis d'accroître la hauteur de *A. holosericea* de 32 % et de multiplier par 4 et 2 respectivement la production de biomasses ligneuse et foliaire par rapport aux arbres témoins. Des effets similaires ont été obtenus avec *G. mosseae* (CORNET et al., 1982), *G. aggregatum* (DUPONNOIS et al., 2001), *P. tinctorius* (FOUNOUNE et al., 2002a), et *P. albus* (DUPONNOIS et al., 2005b) sur *A. holosericea*. Cet effet est couramment attribué au fait que l'introduction du champignon mycorhizien permet à la plante d'acquérir plus facilement les nutriments (notamment le phosphore, l'azote et le potassium) nécessaires à son développement (CORNET et DIEM, 1982 ; DUPONNOIS et al., 2002). Dans notre cas, les effets obtenus avec l'apport direct de NPK attestent de la pertinence de cette affirmation. Nous avons en effet noté que la fourniture directe de NPK aux

plantes permet d'obtenir des effets significativement supérieurs au témoin et statistiquement identiques à ceux obtenus avec *G. intraradices*. BECKER *et al.* (1990) ont d'ailleurs précédemment montré que la mycorhization produit chez les plantes les mêmes effets significatifs sur la croissance et la production de matière sèche (MS) épigée (ligneuse et foliaire) que ceux engendrés par l'apport direct d'engrais minéraux.

Cependant, nos résultats ne confirment pas les observations faites par BECKER *et al.* (1990) en ce qui concerne la production de biomasse foliaire. Nous notons en effet, que la mycorhization engendre des effets moindres sur la production de biomasse foliaire par rapport à la fertilisation. Certains auteurs suggèrent que la mycorhization contrôlée seule a peu d'effet sur la production de biomasse foliaire en condition de sol déficient en phosphore et/ou en bactéries fixatrices d'azote. DIEHOU *et al.*, (2005) pensent que la disponibilité en K pour la plante est le facteur le plus déterminant de la production de biomasse foliaire. Les recherches montrent que l'effet des mycorhizes devient significative lorsqu'on apporte certains éléments nutritifs dans le sol (ENGELS *et al.*, 1995 ; FOUNOUNE *et al.*, 2002b). Nos résultats obtenus avec le NPK confirment ces observations car l'incorporation directe de ces éléments chimiques dans le sol a favorisé une production de biomasse foliaire plus importante.

Nous n'avons pas également mis en évidence une différence significative des teneurs en azote et en phosphore des feuilles de *A. holosericea* entre les traitements ; alors qu'il a été précédemment prouvé que l'inoculation avec des endomycorhizes telles que *G. mosseae* (CORNET *et al.*, 1982 ; COLONNA *et al.*, 1991) ; *G. aggregatum* (DUPONNOIS *et al.*, 2001) permet d'accroître significativement la composition minérale des feuilles de *A. holosericea* et de *A. senegal*. Cependant, FOUNOUNE *et al.* (2002a) ont déjà signalé une réduction significative de la teneur en P et N dans les feuilles de *A. holosericea* mycorhizés par rapport à celles de plantes non mycorhizées. La raison présumée serait une dilution de la concentration du phosphore et de l'azote contenus dans les tissus compte tenu de la forte augmentation de la taille de la plante (CORNET *et al.*, 1982 ; BAGAYOKO *et al.*, 2000 ; FOUNOUNE *et al.*, 2002a). Ce constat diffère cependant selon la teneur du sol en ces éléments et selon l'aptitude du champignon impliqué à favoriser leur prélèvement par la plante hôte (DUPONNOIS *et al.*, 2001). Certains résultats montrent que l'impact de la mycorhization sur la composition chimique des feuilles concerne aussi le K, le Ca, le Mg, etc. (BAGAYOKO *et al.*, 2000 ; DUPONNOIS *et al.*, 2005a ; DIEHOU *et al.*, 2005).

4.2.2. Effet sur la dynamique des herbacées

La diversité et la distribution spatiale des herbacées observées au niveau du site de Kamboinsé ne sont pas significativement influencées par la présence de *A. holosericea* et de *G. intraradices*. Des études ont pourtant mis en évidence une modification de la structure des communautés herbacées en rapport avec l'introduction de plantes exotiques (WEST, 1996 ; KOURTEV *et al.*, 2003) et /ou de champignons mycorhiziens (GAI *et al.*, 2006). VAN DER HEIJDEN *et al.* (1998) ont montré que la composition spécifique, la variabilité, la productivité et la biodiversité des végétaux sont fortement influencées par la composition et la richesse du sol en champignons endomycorhiziens. Récemment, les travaux de SANON *et al.* (2006) ont montré que la mycorhization contrôlée de *G. arborea* avec *G. intraradices* avait des répercussions significatives sur la structure et la diversité des communautés herbacées.

Les travaux de SANON *et al.* (2006) ont été conduites en milieu contrôlé avec *G. intraradices* comme seul facteur variable (présence ou absence du champignon). En conditions naturelles (*in situ*) par contre, l'impact de *G. intraradices* peut être tempéré ou supplanté par d'autres facteurs biotiques (interactions entre microorganismes du sol) et/ou abiotiques (nature du sol, intensité lumineuse, humidité, etc.) (BEVER *et al.*, 1997). La prédominance de l'effet de certains de ces facteurs pourrait justifier l'impact réduit de *G. intraradices* sur la diversité et la fréquence des espèces herbacées au niveau du site de Kamboinsé. La richesse spécifique des espèces, ainsi que les indices de diversité relevés au niveau des trois traitements reflètent en outre, l'existence d'une source semencière commune car on retrouve pratiquement les mêmes espèces dans tous les traitements. Il conviendrait alors d'identifier sur notre site les facteurs responsables de cette diversité des espèces herbacées.

Nos résultats révèlent également que la production de matière sèche épigée chez les herbacées n'est pas significativement influencée par la présence de *G. intraradices*, contrairement aux résultats d'autres auteurs. PEZZANI *et al.* (2006) ont par exemple montré que des champignons mycorhiziens des genres *Acaulospora* et *Glomus* peuvent influencer significativement la production de biomasse épigée chez de nombreuses espèces herbacées (Poacées et Légumineuses). Les différences observées au niveau de nos traitements pourraient être expliquées par la prédominance de facteurs tels que l'effet allélopathique exercé par *A. holosericea* sur la couverture herbacée. Certains auteurs ont montré que ce facteur peut significativement affecter la densité de la couverture végétale et donc la quantité de biomasse produite. L'allélopathie se réfère à l'action d'une plante sur une autre au moyen de métabolites secondaires (hormones, toxines...), lui permettant d'exercer un contrôle lors de la

compétition pour l'accès aux ressources telles que l'eau et les substances nutritives (WHITTAKER et FEENY, 1971). Ainsi, RIDENOUR et CALLAWAY (2001) estiment que les substances synthétisées par de nombreux arbres sont capables d'inhiber la germination et la croissance des herbacées se développant dans leur voisinage immédiat.

L'effet de la compétition pour la lumière pourrait aussi expliquer les résultats observés ; en témoigne l'augmentation progressive de la quantité de biomasse sèche épigée produite par les herbacées au fur et à mesure que l'on s'éloigne du couvert de *A. holosericea*. Cette compétition se manifeste par l'incapacité pour les plantes situées sous couvert de réaliser normalement leur photosynthèse. BROOKER (2006) a rapporté que la compétition pour la lumière peut engendrer une réduction significative de la biomasse herbacée sous couvert.

Ces deux mécanismes seraient habituellement mis en œuvre par les plantes exotiques afin de s'établir dans un milieu donné (VAUGH et BERHOW, 1999 cités par SANON *et al.*, 2006). Des études pourraient permettre de préciser l'impact réel de chacun de ces facteurs sur la production de biomasse herbacée. Néanmoins, les travaux de SANON *et al.* (2006) au Burkina Faso et ceux de PEZZANI *et al.* (2006) en Chine ont montré que l'utilisation des champignons mycorrhiziens peut permettre de réduire l'impact de ces facteurs et d'accroître significativement la production de matière sèche (MS) chez les herbacées.

4.2.3. Effet de *A. holosericea* et de *G. intraradices* sur les paramètres chimiques du sol

La présence de *A. holosericea* seul dans nos parcelles a certes entraîné une augmentation significative de la teneur en carbone total du sol par rapport au sol sans arbres, mais dans le même temps la teneur en azote total est restée similaire. Certains écrits rendent pourtant compte d'une amélioration significative de la teneur en azote du sol en rapport avec la présence des légumineuses (BODDEY *et al.*, 1996). Cette faible teneur en azote total de nos sols, malgré la présence de la légumineuse *A. holosericea*, peut être imputée à la pauvreté réputée en phosphore des lixisols ferriques. GANRY *et al.* (1985) ont en effet montré que la fixation symbiotique de l'azote par les légumineuses est peu efficace en condition de sol déficient en phosphore disponible et ne permet pas d'accroître significativement les stocks d'azote du sol. Les résultats obtenus dans le traitement NPK permettent de confirmer cette hypothèse. En effet, l'apport de NPK a permis de relever significativement le niveau d'azote total du sol. La symbiose mycorhizienne génère les mêmes effets significatifs que l'apport direct de NPK parce qu'elle permet aux plantes et aux microorganismes mycorrhizosphérique

(notamment les bactéries fixatrices d'azote) d'accéder plus facilement aux sources de phosphore du sol.

Les auteurs estiment également que le rapport C/N (TIAN *et al.*, 1992 ; PALM, 1995) et la teneur en lignine et en polyphénols (TEKLAY *et al.*, 2005, DIALLO *et al.*, 2006) sont les principales variables de la qualité de la litière qui déterminent son niveau de décomposition et son impact sur la fertilité du sol. Selon BAREA *et al.* (1991), la décomposition des feuilles riches en lignine a peu d'impact sur la teneur en N total du sol ; alors que les phylloides de *A. holosericea* sont communément considérées comme très riches en lignine et en polyphénols (TILANDER, 1996). DIALLO *et al.* (2006) ont montré que la litière produite par *A. holosericea* est faiblement pourvue en azote (C/N = 58,9). Ces raisons justifieraient aussi dans notre cas, l'impact réduit sur la teneur en N total du sol malgré la teneur élevée en matière organique. HARTLEY *et al.* (1985) cités par DIALLO *et al.* (2006) ont montré que la teneur élevée en polyphénols des feuilles peut diminuer la décomposition et même inhiber l'activité microbienne du sol. Le rapport C/N significativement plus élevé au niveau du traitement *A. holosericea* confirme le faible niveau de décomposition de la matière organique. Compte tenu des résultats obtenus, nous pouvons postuler que l'utilisation de *A. holosericea* seul n'est pas une option intéressante pour le redressement de la fertilité de nos sols. Des résultats plus intéressants ont été obtenus avec des légumineuses locales (OLIVIER *et al.*, 1992 ; BA *et al.*, 2001).

Nos résultats montrent que l'inoculation avec *G. intraradices* entraîne l'élévation significative de la teneur en azote total du sol. Ceci pourrait traduire une stimulation de l'activité microbienne du sol (activités de fixation symbiotique de l'azote et de décomposition de la matière organique). Selon VESTBERG *et al.* (2005), l'introduction de champignons mycorrhiziens s'accompagne d'une diversification de l'activité microbienne du sol avec pour corollaires un effet sur la minéralisation des substrats carbonés et un impact positif sur la qualité chimique des sols. Nous notons en effet, que l'inoculation contrôlée avec *G. intraradices* permet d'abaisser significativement le rapport C/N du sol par rapport au témoin. Des effets analogues sont obtenus avec apport direct de NPK. L'activation de la microflore indigène du sol suite à l'ajout des nutriments pourrait justifier ces effets. Les études antérieures ont montré que la disponibilité en P soluble et en N minérale dans le sol stimule l'activité des microorganismes du sol qui peuvent ainsi facilement décomposer la MO (WARDLE, 1992 ; THOMAS *et al.*, 2006) et efficacement fixer l'azote (BAREA, 1991).

Ces observations justifieraient le fait que dans notre cas, l'apport direct de NPK engendre une élévation significative du niveau de l'azote dans le sol et une baisse du rapport

C/N. Cet effet de la fertilisation minérale doit cependant être relativisé car GRYNDLER *et al.* (2006) ont stipulé qu'une fertilisation minérale élevée peut restreindre l'activité microbienne du sol. Nos résultats indiquent que ces effets décroissent significativement au fur et à mesure que l'on s'éloigne du tronc de *A. holosericea*.

Il est également reconnu que l'établissement et le maintien de la symbiose mycorhizienne sont liés à un flux de C de la plante vers le symbiote fongique. Ce C peut, selon TODD *et al.* (1984) cités par BAGAYOKO *et al.* (2000), contribuer à alimenter le pool de C du sol. En outre, MILLER et JASTROW (2000) de même que RILLIG *et al.* (2001) estiment que 5 à 15 % du carbone organique du sol proviennent de la glomaline, des hyphes des champignons et de la biomasse microbienne morte. Ces hypothèses pourraient aussi expliquer la différence en C total du sol entre le traitement *G. intraradices* et le témoin. Dans ce cas, nos résultats révèlent que l'activité mycorhizienne est significativement intense dans l'espace situé entre 0 – 50 cm du pied de *A. holosericea* et décroît au fur et à mesure que l'on s'éloigne.

On note par ailleurs un abaissement de l'acidité avec *G. intraradices*. Des études précédentes ont fait mention d'une variation du pH du sol suite à l'établissement de la symbiose mycorhizienne (CARAVACA *et al.* 2003 ; WAMBERG *et al.*, 2003). Ces auteurs pensent que ces changements de pH résultent des mécanismes développés par le champignon mycorhizien afin de s'adapter au milieu (sécrétions chimiques et biochimiques). On note aussi que les valeurs du pH sont favorables au développement de *G. intraradices*. TRAPPE *et al.* (1984) ont en effet montré que la germination et la croissance de *Glomus* sont optimales à pH compris entre 4 et 6.

4.2.4. Analyse de la diversité fonctionnelle des sols

La diversité fonctionnelle microbienne du sol est importante pour le maintien de nombreux processus dans le sol (GILLER *et al.*, 1997). L'activité fonctionnelle des microorganismes rhizosphériques (bactéries, actinomycètes ou champignons) inclue une large gamme de fonctions telles que la décomposition de la MO, la mobilisation des nutriments minéraux, la fixation symbiotique de l'azote, la promotion ou l'inhibition de la croissance des plantes et divers autres processus physiques (LINDERMANN, 1988 ; DEGENS *et al.*, 2000). La diversité des fonctions de décomposition réalisées par les microorganismes hétérotrophes représente une des composantes de la diversité fonctionnelle microbienne. ZAK *et al.* (1994) considèrent que les mesures directes de la diversité fonctionnelle des communautés microbiennes hétérotrophes du sol constituent des indicateurs pertinents de l'état de

biofonctionnement du sol. Cette diversité fonctionnelle peut être analysée par la mesure du Profile de Réponse Catabolique (CRP) (DEGENS et HARRIS, 1997).

Nos résultats ne confirment pas les observations de KOURTEV *et al.* (2003), selon lesquelles, l'introduction d'une essence exotique engendre des modifications significatives des fonctions cataboliques des communautés microbiennes du sol. L'absence de différence significative entre les valeurs des indices de diversité fonctionnelle et de la quantité cumulée de CO₂ dégagé au niveau de la parcelle sans arbre par rapport à celle portant *A. holosericea* montre que la présence de cette espèce ne permet pas de modifier significativement l'activité biologique du sol.

Le CRP reflète la composition en carbone organique du sol (DEGENS, 1998). Selon DEGENS *et al.* (2000), le CRP est positivement corrélé au pool de carbone organique du sol. Le CO₂ dégagé représentant le stade final de l'oxydation des substrats organiques disponibles dans le sol, une baisse du CO₂ dégagé traduit une faible disponibilité en carbone organique du sol (DEGENS *et al.*, 2000 ; GRAHAM *et al.*, 2006). Nos résultats montrent cependant que le CRP ne varie pas significativement en présence de *A. holosericea* malgré la teneur en carbone total du sol significativement supérieure au témoin. Ce qui nous amène à conclure que le CRP dépend plus de la nature des substrats organiques, c'est à dire de la disponibilité en substrats carbonés facilement utilisable par les microorganismes du sol. En effet, TEKLAY *et al.* (2005) ont montré que le maximum de réponse respiratoire des microorganismes physiologiquement actifs du sol peut être enregistré en présence de substrats carbonés facilement minéralisables. Ceci confirmerait la faible qualité de la litière produite par *A. holosericea* et justifierait la réaction limitée des microorganismes du sol.

La différence significative de CRP enregistrée entre les trois traitements (NPK, *G. intraradices* et Témoin) reflète une hétérogénéité dans le recyclage des substrats carbonés et donc, une hétérogénéité dans la composition microbienne du sol. La variation significative de la réponse respiratoire engendrée par l'ajout des différents groupes de substrats dans le traitement *G. intraradices* traduit une diversité dans la composition microbienne active du sol par rapport au témoin. Ceci corrobore l'affirmation selon laquelle l'introduction de *G. intraradices* engendre une diversification de l'activité fonctionnelle des microorganismes du sol (HELGASON *et al.*, 1998). TEKLAY *et al.* (2005), estiment que l'établissement de la symbiose mycorhizienne modifie conséquemment l'équilibre microbien de la rhizosphère. C'est ce que LINDERMAN (1988) et GARBAYE (1991) ont appelé "effet mycorrhizosphérique". Cet effet peut engendrer des effets stimulateurs ou inhibiteurs sur les groupes de microorganismes du sol et avoir des répercussions importantes sur le recyclage des

nutriments. Nos résultats montrent que l'introduction de *G. intraradices* stimule l'activité biologique du sol, en témoigne son impact positif sur l'activité respiratoire du sol. Cette stimulation de l'activité respiratoire trouve son explication dans le fait que l'établissement de la symbiose mycorhizienne stimule l'exsudation de carbohydrates par les racines. Ce qui selon TEKLAY et al. (2005), a des répercussions positives sur l'activité biologique du sol. Nous avons noté dans ce traitement une variation significative dans l'utilisation des Acides carboxyliques en fonction de la distance. Cela signifie que l'introduction du champignon conduit à un nouvel équilibre microbien dans le sol. Nos résultats montrent que cette modification fonctionnelle affecte significativement le recyclage des nutriments dans le sol.

Nos résultats montrent que l'apport de NPK produit significativement les mêmes effets. Nous notons par ailleurs aussi que l'ajout de NPK affecte significativement la diversité et la richesse cataboliques du sol en fonction de la distance, ce qui confirme aussi l'hypothèse selon laquelle la pauvreté en nutriments du sol peut limiter significativement l'activité fonctionnelle dans le sol. Des conclusions similaires ont été tirées par GRAHAM et HAYNES, (2006) ; SALL et al. (2006) et WARDLE et al. (2006). Nous pouvons donc conclure que le flux de nutriments qui accompagne l'établissement et le maintien de la symbiose mycorhizienne est à la base de l'activation des microorganismes indigènes du sol.

Certaines études ont montré que tous les sols du Burkina sont pourvus en endomycorhizes à vesicules et arbuscules. BA et al., (1996) ont mis en évidence une diversité de Glomales indigènes associés à *A. holosericea* dans plusieurs sols de la région Nord soudanienne du Burkina Faso. Les résultats obtenus suite à l'ajout du NPK montrent que la pauvreté en éléments nutritifs de nos sols entrave fortement l'expression de ces champignons indigènes. La levée de la contrainte nutritive s'avère donc être un préalable au rétablissement de la fertilité biologique des sols dégradés. Nos résultats mettent par ailleurs en exergue, la performance de *G. intraradices* par rapport aux champignons mycorhiziens indigènes, car son introduction seule dans nos parcelles a permis d'obtenir des effets similaires à ceux de la fertilisation. Sa présence a contribué significativement à diversifier l'activité microbienne dans le sol par rapport au sol témoin. Ce qui est en conformité avec notre hypothèse de départ.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La restauration de la productivité des sols dégradés et la réhabilitation du couvert végétal constituent des enjeux vitaux pour les populations des zones tropicales. Il est maintenant admis que la promotion de la symbiose mycorhizienne peut constituer une alternative intéressante, dans le contexte des sols pauvres en éléments nutritifs notamment le phosphore et l'azote, pour la promotion d'une agriculture biologique et durable.

Une étude portant sur l'évaluation des impacts de cette symbiose (avec le champignon endomycorhizien *G. intraradices*) sur le développement de *A. holosericea* et sur la microflore endémique du sol a été conduite à la station de recherche agricole de l'INERA à Kamboinsé. Les résultats de l'étude viennent confirmer les nombreux avantages conférés aux plantes par la symbiose mycorhizienne, évoqués par de nombreux travaux antérieurs. Les travaux ont également permis de montrer que l'introduction de champignons exogènes a des répercussions sur la microflore endémique de sol ainsi que le recyclage des éléments nutritifs.

Il ressort notamment de cette étude que le recours à la mycorhization contrôlée a des effets positifs importants sur le taux de survie, la croissance et la production de matière sèche chez *A. holosericea*. Cet impact est couramment imputé aux avantages nutritionnels acquis par les plantes grâce aux champignons mycorhiziens. Nos résultats montrent à cet effet que l'effet obtenu avec la mycorhization est semblable à celui enregistré en apportant directement de l'engrais composé (NPK) aux plantes. Ces résultats montrent que la mycorhization contrôlée peut être efficacement valorisée dans les opérations de reboisement.

Les résultats ont par ailleurs permis de se rendre compte que l'inoculation avec *G. intraradices* en milieu naturel n'a pas d'impact significatif sur la diversité floristique herbacée, contrairement aux résultats obtenus en milieu contrôlé par certains auteurs. Une étude portant sur la recherche des facteurs responsables de cette différence pourrait permettre de préciser le rôle des champignons mycorhiziens dans le comportement de la végétation herbacée. Cependant, les résultats obtenus en milieu contrôlé montrent que la promotion de cette association symbiotique pourrait permettre de réduire l'impact de la concurrence entre cet arbre et les cultures dans le cas de l'agroforesterie.

En outre, l'étude a permis de prouver le rôle déterminant de la mycorhization dans le recyclage des éléments nutritifs et corrélativement dans l'amélioration de la fertilité globale du sol. Cet effet réside dans le fait que l'établissement de la symbiose mycorhizienne favorise une disponibilité en nutriments et en énergie, qui confère aux microorganismes du sol la capacité de minéraliser facilement les composés organiques et de fixer l'azote. Nos résultats

indiquent que la symbiose mycorhizienne engendre les mêmes effets que l'incorporation directe de nutriments dans le sol. Le recours à la mycorhization contrôlée pourrait donc constituer une alternative à la réduction de l'utilisation d'engrais minéraux et à la promotion d'une agriculture biologique durable.

Les résultats ont enfin prouvé que l'introduction de *G. intraradices* engendre des modifications fonctionnelles dans le sol. Ceci se traduit par une variation significative de l'activité de métabolisme (CRP) de divers substrats carbonés simples ajoutés aux différents types de sols. Cette situation se justifie par une dynamisation de l'activité biologique engendrée par l'introduction du champignon étranger. Nos résultats mettent alors en exergue le fait que la pauvreté en éléments nutritifs des sols entrave fortement l'expression des microorganismes indigènes.

Cependant, la méthode de détermination du CRP proposée par DEGENS et HARRIS (1997) donne certes une idée de la diversité fonctionnelle du sol, mais ne donne pas des informations sur la nature et la proportion des microorganismes responsables de cette diversité fonctionnelle. Cette limitation existe largement parce que les microorganismes du sol peuvent être présents mais ne sont pas fonctionnellement réactifs aux substrats utilisés (DEGENS et *al.*, 2000). L'identification et la quantification effectives des microorganismes présents dans le sol, peuvent fournir des pistes pour leur gestion efficace et l'amélioration de la qualité biologique des sols. C'est pourquoi nous suggérons que cette méthode soit couplée à une détermination de la biomasse microbienne totale par la méthode d'extraction fumigation, la mesure de l'activité enzymatique du sol, la détermination du carbone potentiellement minéralisable et la quantification des spores des champignons mycorhiziens.

Nos résultats ayant montré que la mycorhization permet de réussir l'introduction de l'essence exotique *A. holosericea*, nous recommandons que les études antérieures soient orientées vers la recherche de souches indigènes performantes par rapport à cette essence. Ceci faciliterait l'opération de mycorhization et réduirait les coûts. Nous recommandons en outre, que l'exercice de la mycorhization contrôlée soit tournée vers la recherche et la promotion de souches de champignons mycorhiziens indigènes performantes et adaptées à nos espèces ligneuses locales, en vue de permettre d'optimiser leur potentiel et d'assurer la réussite des opérations de reboisement. Ces essences et ces souches indigènes présenteraient l'avantage d'être adaptées aux conditions du milieu et pourraient se révéler plus aisément maîtrisables par les producteurs.

BIBLIOGRAPHIE

- AKPO, L.E., BANOIN, M., GROUZIS, M. 2003.** Effet de l'arbre sur la production et la qualité fourragère de la végétation herbacée : bilan pastoral en milieu sahélien. *Revue Méd. Vét.*, n°154; pp. 619-628
- ALBERTSEN, A., RAVNSKOV, S., GREEN, H., JENSEN, D.F., LARSEN, J., 2005.** Interaction between the external mycelium of the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and other soil microorganisms as affected by organic matter. *Soil Biology & Biochemistry* ; pp 1-7.
- ARBONNIER, M., 2002.** Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. CIRAD, MNHN; 2eme Edition ; 573p.
- ASSIGBETSE, K., GUEYE, M., THIUOLOUSE, J., DUPONNOIS, R., 2005.** Soil Bacterial Diversity Responses to Root Colonization by an Ectomycorrhizal Fungus are not Root-Growth-Dependent. *Microbial Ecology* vol. 0 ; Pp 1-10.
- AUGÉ, R. M., KUBIKOVA, E., MOORE, J., 2001.** Foliar dehydration tolerance of mycorrhizal cowpea, soybean and bush bean. *New phytologist*; n° 151; pp. 535 – 541.
- AYUK, E.T.; 1997.** Adoption of agroforestry technology: the case of live hedges in the central plateau of Burkina Faso. *Agricultural Systems*; vol. 54; n° 2; pp. 189-206.
- BÂ, A.M., GUISSOU, T., 1996.** Effet du phosphate naturel sur de jeunes *Acacia albida* Del. en présence ou non de mycorhizes. *Les parcs à Faidherbia* n° 12 ; pp. 237-244.
- BÂ, A.M., GUISSOU, T., DUPONNOIS, R., PLENCHETTE, C., SACKO, O., SIDIBE, D., SYLLA K., WINDOU B., 2001.** Mycorrhization contrôlée et fertilisation phosphatée : applications à la domestication du jujubier. *Fruits* vol. 56 ; n° 4 ; pp. 261-269.
- BÂ, A.M., SANON, K.B., DUPONNOIS, R., DEXHEIMER, J., 1999.** Growth responses of *Azelia africana* Sm. seedlings to ectomycorrhizal inoculation in a nutrient-deficient soil. *Mycorrhiza* n° 9; pp. 91-95.
- BAGAYOKO, M., GEORGE, E., RÖMHELD, V. AND BUEKERT, A., 2000.** Effect of mycorrhizal and phosphorus on growth and nutrient uptake of millet, cowpea and sorghum on a West African soil. *Journal of Agriculture Science, Cambridge* n°135; pp. 399 – 407.
- BAGO, B, PFEFFER, PE, ABUBAKER, J, JUN, J, ALLAN, JW, BROUILLETTE, J, DOUDS, DD, LAMMERS, PJ, SHACHAR-HILL, Y., 2003.** Carbon export from arbuscular mycorrhizal roots involves the translocation of glycogen as well as lipid. *Plant Physiology* n°131; pp.1496-1507.
- BAREA, J.M., 1991.** Vesicular-arbuscular mycorrhiza as modifiers of soil fertility. *Advance Soil Science* n° 15; pp. 1-40.
- BAREA, J.M., EL-ATRACH, F., AZCON, R., 1991.** The role of VA mycorrhizas in improving plant N acquisition from soil as assessed with ¹⁵N, In: FLITTON C. (Ed.). IAEA, FAO, pp. 677-808.

- BAUMER, M., 1987.** Agroforesterie et désertification. CTA – ICRAF. 260 p.
- BAYALA, J., MANDO, A., TEKLEHAIMANOT, Z., OUEDRAOGO, S.J., 2004.** Nutrient release from decomposition leaf mulches of karité (*Vitellaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa*) under semi-arid condition in Burkina Faso West Africa. *Soil Biology and Biochemistry* n° 34 ; pp. 533-539.
- BEARE, M.H., HU S., COLEMAN, D.C., HENDRIX, P.F., 1997.** Influence of mycelial fungi on soil aggregation and organic matter storage in conventional and no-tillage soils. *Soil Ecology* n° 5; pp. 211-219.
- BECKER, M., LADHA, J.K., OTTOW, J.C.G., 1990.** Influence of NPK on performance of the stem-nodulation legumes *Sesbania rostrata* and *Aeschynomene afraspera* in lowland rice. *Z. Pflanzener Bodenk* n° 153, pp. 333-339.
- BENTHLENFALVAY, G.J., 1992:** Mycorrhizas in the agricultural soil-plant system. *Symbiosis* n° 14; pp. 413-425.
- BETHLENFALVAY, G., REYES-SOLIS M., CAMEL S., C., FERRERA-CERRATO R., 1991 :** Nutrient transfer between the root zones of soybean and maize plants connected by a common mycorrhizal mycelium. *Physiology Plantarum* n° 82; pp. 423-432.
- BEVER, J.D., WESTOVER, K.M., ANTONOVICS, J., 1997.** Incorporating the soil community into plant population dynamics : the utility of a feedback approach. *J. Ecol.* n° 85; pp. 561-571.
- BEVER, D. J., SCHULTZ, P., A., PRINGLE, A., MORTON, J. B., 2001.** Arbuscular mycorrhizal fungi: more diverse than meets the eye, and the ecological tale of why. *Bioscience* vol. 51 n° 11; pp. 923-932.
- BILGO, A., 2005.** Statut organo-minéral et biologique des sols dans les systèmes culture-jachère naturelle de courte durée ou améliorée a *Andropogon gayanus* Kunt. Cas de Bondoukuy en zone Sud soudanienne du Burkina Faso. Thèse Univ. Ouaga. 184p.
- BILGO, A., MASSE, D., SALL, S. SERPANTIE, G., CHOTTE, J.-L, HIEN, V., 2006.** Chemical and microbial properties of semiarid tropical soils of short-term fallows in Burkina Faso, West Africa. *Biology and Fertility of Soils*; n° 43; pp. 313 – 320.
- BODDEY, R.M., SA J.C., ALVES B.J.R., URQUIAGA S., 1996.** The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural systems in the tropics. *Soil Biol. Biochem.* vol. 29; n° 5/6; pp. 787-799.
- BODKER, L., KJOLLER, R., ROSENDAHL, S., 1998.** Effect of phosphate and the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* on disease severity of root of peas (*Pisum sativum*) caused by *Aphanomyces euteiches*. *Mycorrhiza* n° 8; pp. 169-174.
- BOLAND, D.J., TURNBULL, J.W., 1989.** Australian trees species for fuelwood and agroforestry in China, Kenya, Thailand and Zimbabwe. *In* Trees for tropics. BOLAND (Eds). pp. 13-20.

BOUCHARD, D., KARABAGHLI, C., LE TACON F., 1997. Mycorhizes et multiplication végétative du Douglas. Colloque Ste Catherine ; Revue Forestière Française, pp. 63-77.

BOULARD, B., 1968: Les Mycorhizes: Monographie 2. Ed. Masson et Compagnie ; 127p.

BRADLEY, R.L., SHIPLEY, B., BEAULIEU, C., 2006. Refining numerical approaches for analyzing soil microbial community catabolic profiles on carbon source utilisation patterns. *Soil Biology and Biochemistry* n° 38 ; pp. 629-632.

BREMAN, H., KESSLER, J.J., 1995. Woody plants in agro-ecosystems of semi-arid regions. (with an emphasis on the Sahelian countries). *Advanced Series in Agricultural Sciences*, vol. 23. Springer-Verlag ; Berlin ; 340p.

BREMAN, H., KESSLER, J.J., 1997. The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other sem-arid regions. *European Journal Agronomy* n° 7; pp. 25-33.

BROOKER, R.W. 2006. Plant-plant interactions and environmental change. *New phytologist* n° 171; pp. 271-284.

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.

BURESH, R.J., TIAN G., 1998. Soil improvement by trees in Sub-Saharan Africa. *Agroforestry Systems*, n° 38; pp. 51-76.

CABELLO, M.N., 1997. Hydrocarbon pollution: its effect on native arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). *FEMS Microbiology Ecology* n° 22; pp. 233-236.

CARAVACA, F., HERNANDEZ, T., GARCIA, C., ROLDAN, A., 2002. Improvement of rhizosphere aggregate stability of afforest semiarid plant species subjected to mycorrhizal inoculation and compost addition. *Geoderma* n° 108 ; pp. 133-144.

CARDOSO, I.M., KUYPER, T.W., 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agri. Ecosyst. and Envi.* n° 116 ; pp. 72 – 84.

COLONA, J.P., THOEN, D., DUCOUSSO, M., BADJI, S., 1991. Comparative effect of *Glomus mossae* and P. fertilization on foliar mineral composition of *Acacia senegal* seedling inoculated with rhizobium. *Mycorrhiza* n° 1 ; pp. 35-38.

CORNET, F., DIEM, H.G., 1982. Etude comparative de l'efficacité de souches de *Rhizobium* d'*Acacia* isolées de sols du Sénégal et effet de la double symbiose *Rhizobium-Glomus mosseae* sur la croissance de *Acacia holosericea* et *Acacia raddiana*. *Bois et Forêts des Tropiques* n° 198 ; pp. 3-15.

CORNET, F., DIEM, H.G., DOMMERGUES, Y.R., 1982. Effet de l'inoculation avec *Glomus mosseae* sur la croissance de *Acacia holosericea* en pépinière et après transplantation

sur le terrain. In : Les mycorhizes : biologie et utilisation ; Colloque INRA n° 13 ; pp. 287-293.

DAGET, P., POISSONNET, J., 1971. Méthode d'analyse de la végétation des pâturages. Critères d'application. *Ann.-Agron.* n°22 ; pp. 4-41.

DALPE, Y., MONREAL, M. 2004. Arbuscular mycorrhiza inoculum to support sustainable cropping systems. *Crop management* n° 10 ; pp. 1094-1104.

DE SOUZA, F. A. 2005. Biology, ecology and evolution of the family *gigasporaceae*, arbuscular mycorrhizal fungi (glomeromycota). Thèse de doctorat Leiden University; Netherlands. 52p.

DEGENS, B.P. 1999. Catabolic response profiles differ between microorganisms grown in soils. *Soil Biology & Biochemistry* n° 31 ; pp. 475-477.

DEGENS, B.P., 1998. Microbial functional diversity can be influenced by the addition of simple organic substrates to soil. *Soil Biology & Biochemistry*, vol 30, n° 14 ; pp. 1981-1988.

DEGENS, B.P., HARRIS, J.A., 1997. Development of a physiological approach to measuring the catabolic diversity of soil microbial communities. *Soil Biol. Biochem.* Vol 9; n° 10 ; pp. 1309-1320.

DEGENS, B. P., SCHIPPERS, L. A., SPARLING, G. P., VOJVODIC-VUKOVIC, M. 2000. Decreases in organic C reserves in soils can reduce the catabolic diversity of soil microbial communities. *Soil Biol. Biochem.* n° 32; pp. 189-196.

DELL, B., MALAJCZUK, N., GROVE, T.S., THOMPSON, G.T., 1994. Development and function of *Pisolithus* and *Scleroderma* ectomycorrhizas formed *in vivo* with *Allocasuarina*, *Casuarina* and *eucalyptus*. *Mycorrhiza* n° 5 ; pp. 129-138.

DIALLO, M.D., DUPONNOIS, R., GUISSÉ, A., SALL, S., CHOTTE, J-L., THIOULOUSE J. 2006. Biological effects of native and exotic plant residues on plant growth, microbial biomass and N availability under controlled conditions. *European Journal of Soil Biology*; article in press.

DIÉHOU, A., GUËYE, G.O., DIABATÉ, M., PRIN, Y., DUPONNOIS, R., DREYFUS, B., BÂ, A. M., 2005. Contrasting responses to ectomycorrhizal inoculation in seedlings of six tropical African tree species. *Mycorrhiza Original Paper*.

DOMMERGUES, Y., DUHOUX, E., DIEM, H. G., 1999. Etablissement et fonctionnement des symbioses rhizobiennes. Eds espaces n° 34 ; pp. 1-31.

DOMMERGUES, Y., MANGENOT, F, 1970. Ecologie microbienne du sol. Paris, France, Masson ; 796p.

DOUDS, D.D., MILLNER, P.D., 1999. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agro- systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* n° 74 ; pp. 77-93.

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.

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.

DUPONNOIS, R., CADET, P., SENGHOR, K., SOUGOUFARA, B., 1997. Etude de la sensibilité de plusieurs acacias australiens au nématode à galles *Meloidogyne javanica*. *Ann. Sci. For.* n° 54 ; pp. 181-190.

DUPONNOIS, R., COLOMBET, A., HIEN, V., THIOULOUSE, J., 2005a. The mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and rock phosphate amendment influence plant growth and microbial activity in the rhizosphere of *Acacia holosericea*. *Soil Biology & Biochemistry* n° 37; pp. 1460–1468.

DUPONNOIS, R., FOUNOUNE, H., LESUEUR, D., 2002. Influence of the controlled dual ectomycorrhizal and rhizobial symbiosis on the growth of *Acacia mangium* provenances, the indigenous symbiotic microflora and the structure of plant parasitic nematode communities. *Geoderma* n° 190 ; pp. 85-102.

DUPONNOIS, R., FOUNOUNE, H., MASSE, D., PONTANIER, R., 2005b. Inoculation of *Acacia holosericea* with ectomycorrhizal fungi in a semiarid site in Senegal: growth response and influences on the mycorrhizal soil infectivity after 2 years plantation. *Forest Ecology and Management* n° 207; pp. 351-362.

DUPONNOIS, R., PLENCHETTE, C., 2003. A mycorrhiza helper bacterium (MBH) enhances ectomycorrhizal symbiosis of Australian *Acacia* species. *Mycorrhiza* n° 13; pp. 85-91.

DUPONNOIS, R., PLENCHETTE, C., BÂ A.M., 2001. Growth stimulation of seventeen fallow leguminous plants inoculated with *Glomus aggregatum* in Senegal. *Eur. J. Soil Biol.* n° 37; pp. 181-186.

EMMERTON, K.S., CALLAGHAN, T.V., JONES, H.E., LEAKE, J.R., MICHELSEN A., READ, D.J., 2001. Assimilation and isotopic fractionation of nitrogen by mycorrhizal fungi. *New Phytologist* n° 151; pp 503-511.

ENGELS, K.A., BECKER, M., OTTOW, J.G.C., LADHA, J.K. 1995. Influence of phosphorus or phosphorus-potassium fertilization on biomass and dinitrogène fixation of the stem nodulating green manure legume *Sesbania rostrata* in different marginally productive wetland rice soil. *Biol. Fertil. Soils* n° 20; pp. 107-112.

ENTRY, J.A., RYGIEWCZ, P.T., WATRUD, L.S., DONNELLY, P.K., 2002. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of arbuscular mycorrhizas. *Adv. Environ. Res.* n° 7; pp. 123-138.

FALL, A.A., TAMBA, A., SAMBA, S.A.N., 2002. Impact social et économique de la recherche sur les brise-vents en riziculture irriguée dans le delta et la moyenne vallée du fleuve Sénégal. 2^{ème} Atelier Régional sur les aspects socio-économiques de l'Agroforesterie au Sahel ; 10p.

FELLER, C., LAVELLE, P., ALBRECHT, A., NICOLARDOT, B., 1991. La jachère et le fonctionnement des sols tropicaux. Rôle de l'activité biologique et des matières organiques. Quelques éléments de réflexion. In FLORET C., SERPENTIE G. (Eds): La jachère en Afrique de l'Ouest, ORSTOM, pp. 15-46.

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.

FITTER, A. H., GARBAYE, J., 1994. Interaction between mycorrhizal fungi and other organisms. *Plant and Soil* n°159; pp. 123 – 132.

FLORET, C., PONTANIER, G., SERPENTIER, G., 1993. La jachère en Afrique Tropicale. Man And Biosphère, UNESCO, Paris Vol. 16 ; 86 p.

FONTES, J., GUINKO, S., 1995. Carte de la végétation et de l'occupation des sols au Burkina Faso. Carte et notice explicative. Echelle (1/1 000000) : notice explicative. Ouagadougou, Burkina Faso : Ministère de la Coopération française. Projet Campus. Institut du Développement Rural. Faculté des sciences et techniques, Univ.de Ouagadougou, 67 p.

FORTIN, J. A., BÉCARD, G., DECLERCK, S., DALPÉ, Y., ARNAUD, M., COUGHLAN, A.P., PICHE, Y., 2002. Arbuscular mycorrhiza on root-organ cultures. *Canadian Journal of Botany* n° 80; pp. 1-20.

FOUNOUNE, H., DUPONNOIS, R., BA, A.M., 2002b. Ectomycorrhization of *Acacia Mangium*, Willd. And *Acacia holosericea* (A. Cunn. Ex D. Don) in Senegal. Impact on plant growth, populations of indigenous symbiotic microorganisms and plant parasitic nematodes. *Journal of Arid Environments* n° 50 ; pp. 325-332.

FOUNOUNE, H., DUPONNOIS, R., BA, A.M., EL BOUAMI, F., 2002a. Influence of the dual arbuscular endomycorrhizal/ectomycorrhizal symbiosis on the growth of *Acacia holosericea* (A. Cunn. Ex D. Don) in glasshouse conditions. *Ann. For. Sci.* n° 59 ; pp. 93-98.

GAI, J.P., FENG, G., CAI, X.B., CHRISTIE, P., LI L.X. 2006. A preliminary survey of the arbuscular mycorrhizal status of grassland plants in southern Tibet. *Mycorrhiza* n° 16 ; pp. 191-196.

GALLI, U., SCHIEPP, H., BRUNOID, C., 1995. Thiols of Cu-treated maize plants inoculated with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Physiologia Plantarum* n° 94 ; pp. 247-253.

GANRY, F., DIEM, H. G. WEY, J., DOMMERGUES, Y. R., 1985. Inoculation with *Glomus mosseae* improve N₂ fixation by field-grown soybeans. *Biol. Fertil. Soils* n° 1; pp. 15 – 23.

- GANRY, F., FELLER, C., HARMAND, JM., GUIBERT, H., 2001.** Management of soil organic matter in semiarid Africa for annual cropping systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* n° 61 ; pp. 105-118.
- GARBAYE, J., 1991.** Biological interaction in the mycorrhizosphere. *Experientia* n° 47; pp. 370-375.
- GARBAYE, J., 1994.** Helper bacteria: a new dimension to the mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist* n° 128 ; pp. 197-210.
- GAUNT, R.E., 1978.** Inoculation of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on onion and tomato seeds. *New Zealand Journal of Botany*, vol. 16; pp. 69-71.
- GAVITO, M. E., OLSSON P. A. 2003.** Allocation of plant carbon to foraging and storage in arbuscular mycorrhizal fungi. *FEMS Microbiology Ecology* n° 45; pp. 181-187.
- GERMANI, G., OLLIVIER, B., DIEM, H.G., 1981.** Interaction of *Scutellonema cavenessi* and *Glomus mosseae* on growth and N₂ fixation of soybean. *Revue Nématol.* n° 2 ; pp. 277-280.
- 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.
- GILLER, K.E., BEARE, M.H., LAVELLE, P., IZAC, M.N., SWIFT, M.J. 1997.** Agricultural intensification, soil biodiversity and agrosystem function. *Applied Soil Ecology* n° 6; pp. 3-16.
- GONZALEZ-GUERRERO, M., AZCON-AGUILAR, C., MOONEY, M., VALDERAS, A., Mac DIARMID, C.W., EIDE, D.J., FERROL, N., 2005.** Characterization of a *G. intraradices* gene encoding a putative Zn transporters of the cation diffusion facilitator family. *Fungal Genetics and Biology* n° 42, pp. 130-140.
- 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.
- GRAHAM, M. H., HAYNES, R. J. 2005.** Catabolic diversity of soil microbial communities under sugarcane and other land uses estimated by biolog and substrate-induced respiration methods. *Applied Soil Ecology* n° 29; pp. 155-164.
- GRAHAM, M.H., HAYNES, R.J., 2006.** Organic matter status and size, activity and metabolic diversity of the soil microbial community in the row and inter-row of sugarcane under burning and trash retention. *Soil Biology and Biochemistry* n° 38 ; pp. 21-31.
- GRYNDLER, M., LARSEN, J., HRSELOVA, H., REZACOVA, V., GRYNDLEROVA, H., KUBAT, J., 2006.** Organic and mineral fertilization, respectively, increase and decrease the development of external mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi in a long-term field experiment. *Mycorrhiza* n° 16; pp. 159-166.

- GUENOUNE, D., GALILI, S., PHILLIPS, D.A., VOLPIN, H., CHET, I., OKON, Y., KAPULINK, Y., 2000.** The defense response elicited by the pathogen *Rhizoctonia solani* is suppressed by colonization of the AM-fungus *Glomus intraradices*. *Plant Science* n° 160 ; pp. 925-932.
- GUEYE, M., 1992.** Effect of Rhizobium on Rhizobium/Glomus inoculation on nitrogen fixation in bambara groundnut. In MOULONGOY K., GUEYE M., SPENCER D.S.C., (eds). AABNF; IITA, Ibadan, Nigeria; pp. 283-287.
- GUISSOU, T., 1994.** Amélioration de la croissance et de la fixation d'Azote chez deux Acacias australiens (*Acacia holosericea* A. Cunn. Ex G. Don. Et *Acacia mangium* Wild.). Mise en évidence d'une diversité de Glomales dans les sols du Burkina Faso. Mém IDR ; 49p.
- GUINKO, S., 1984.** Végétation de la Haute Volta. Thèse de doctorat Es sciences naturelles Université Bordeaux III, Tome 1, 318 p.
- GUO, Y., GEORGE, E., MARSCHNER, H., 1996.** Contribution of arbuscular mycorrhizal fungus to uptake of cadmium and nickel in bean by maize plants. *Plant and Soil* n° 184; pp. 195-205.
- 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.
- HARLEY, J.L., SMITH, S.E. 1983.** Mycorrhizal symbiosis. Academic Press INC. New York, London, 438p.
- HARRISON, J. M., 1999.** Molecular and cellular aspects of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. Annual Review: *Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* n° 50 ; pp. 61-89.
- HARWOOD, C., RINAUDO, T., ADEWISI, S., 1995.** Développer la production de graines d'acacia d'Australie comestibles pour les populations du Sahel. ACIAR Forestry Newsletter, n°19 ; pp. 1-10.
- HARWOOD, C.E., 1994.** Human food value of the seeds of some Australian dry zone acacia species. *Journal of Arid Environments*, n° 27 ; pp. 27-35.
- HERNANDEZ, G., CUENCA, G., GARCIA, A. 2000.** Behaviour of AMF on *Vigna luteola* growth and its effect on the exchangeable (³² P) phosphorus of soil. *Biol. Fertil. Soils* n° 31; pp. 232-236.
- HELGASON, T., DNIELL, T.J., HUSBAND, R., FITTER, A.H., YOUNG, J.P.W., 1998.** Ploughing up the wood-wide web. *Nature* n° 17, pp. 394-431.
- HIEN, F. G., 1995.** La régénération de l'espace sylvo-pastoral au Sahel : une étude de l'effet de mesures de conservation des eaux et des sols au Burkina Faso. Thèse de l'Université Agronomique Wageningen, 219 p.
- HODGE, A., 2000.** Microbial ecology of the arbuscular mycorrhizal. MiniReview. *FEMS microbiology Ecology* n° 32; pp. 91 - 96.

- HODGE, A., CAMPBELL, C.D., FITTER, A.H., 2001.** An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. *Nature* n°413, pp. 297-299.
- JACKSON, L. E., MILLER, D., SMITH, S. E., 2001.** Arbuscular mycorrhiza colonisation and growth of wild and cultivated lettuce in response to nitrogen and phosphorus. *Scientia Horticulturae* n° 94 ; pp. 205-218.
- JANSSEN B.H. 2006.** The ideal soil fertility. *Agric. Ecosyst. and Envi.* n° 116 ; pp. 64-71.
- JIN, H., PFEFFER, P.E., DOUDS, D.D., PIOTROWSKI, E., LAMMERS, P.J., SHACHAR-HILL, Y., 2005.** The uptake, metabolism, transport and transfer of nitrogen in an arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist* n° 168 ; pp. 687-696.
- JOHANSSON, J.F., PAUL, L.R., FINLAY, R.D., 2003.** Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. *FEMS Microbiology Ecology* n° 48 ; pp. 1-13.
- JONER, E.J., LEYVAL, C., 2003.** Phytoremediation of organic pollutants using mycorrhizal plants: a new aspect of rhizosphere interactions. *Agronomy* n° 23; pp. 495-502.
- JUNIPER, S., ABBOTT, L, 1993.** Vesicular-arbuscular mycorrhizas and soil salinity. *Mycorrhizas* n° 4; pp. 48-57.
- KABIR, Z. 2005.** Tillage or no-tillage: impact on mycorrhizae. *Can. J. Plant Sci.* n° 85; pp. 23-29.
- KAHILUOTO, H., KOTOGA, E., VESTBERG, M., SAARELA, I., 2001.** Promotion of arbuscular mycorrhizae utilisation through reduced P fertilisation. Field Studies. *Plant Soil* n° 231; pp. 65-79.
- KAMBOU, F., ZOUGMORE, R., 1995.** Evolution des états de surface d'un "zipellé" soumis à différentes techniques de restauration des sols (Yilou, Burkina Faso). *Bull. réseau Erosion* n° 16 ; pp.19-32.
- KANG, B.T., 1997.** Alley cropping-soil productivity and nutrient recycling. *Forest Ecology and management* n° 91 ; pp. 75-82.
- KERNAGHAN, G., 2005.** Mycorrhizal diversity: cause and effect? International Symposium on impacts of soil biodiversity on biogeochemical process in ecosystems, Taipei, Taiwan, 2004. *Pedobiologia* article in press. 10p.
- KJOLLER, R., ROSENDAHL, S., 2000:** Effects of fungicides on arbuscular mycorrhizal fungi: differential responses in alkaline phosphate activity of external and internal hyphae. *Biol. Fertil. Soils* n° 31; pp. 361-365.
- 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.
- KOUTEV, P., EHNRENFELD, J., HAGGBLOM, M., 2003.** Experimental analysis of the effect of exotic and native plant species on the structure and function of soil microbial communities. *Soil Biol. & Bioch.* n° 35 ; pp. 895-905.
- KUBIKOVA, E., MOORE, J., OWNLEY, B. H., MULLER, D.M., AUGÉ, R. M., 2001.** Mycorrhizal impact on osmotic adjustment in *Ocimum basilicum* during a lethal drying episode. *Journal of Plant Physiology* n° 158; pp. 1227-1230.
- LARSEN, J., THINGSTRUP, I., JACOBSEN, I., ROSENDALH, S., 1996.** Benomyl inhibits phosphorus transport but not alkaline phosphatase activity in *Glomus-Cucumber* symbiosis. *New Phytologist* n° 132; pp. 127-134.
- LE TACON, F. 1982.** *Perspective de la maîtrise de la mycorhization en sylviculture.* In GIANINAZZI S. (Ed) : Les mycorhizes: biologie et utilisation. INRA Press, Paris, France. pp. 273-283.
- LEKBERG, Y., KOIDE, R., T., 2005.** Arbuscular mycorrhizal fungi, rhizobia, available soil P and nodulation of groundnut (*Arachis hypogaea*) in Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems and environment* n° 110 ; pp. 143 – 148.
- LENDZERMO, V. W., KUYPER, TH. W., KROPFF, M. J., VAN AST, A., 2004.** Field inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi reduces *Striga hermonthica* performance on cereal crop and has the potential to contribute to integrated *Striga* management. *Field Crop Research* n° 19; pp. 51-61.
- LERAT, S., 2003.** Etude des relations sources/puits de carbone dans la symbiose endomycorhizienne à arbuscules. Thèse de PhD de l'Université Laval ; 103 p.
- LINDERMANN, R., 1988.** Mycorrhizal interactions with the rhizosphere microflora: the mycorrhizosphere effect. *Phytopathology* n° 78 ; pp 366-371.
- 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.
- MÄDER, P., ENDENHOFER, S., BOLLER, T., WIEMKEN, A., NIGGLI, V., 2000.** Arbuscular mycorrhizae in a long-term field comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *Biol. Fertil. Soil.* n° 31; pp 150-156.
- MAGGURAN, A.E. 1998.** Ecological diversity and its measurement. Croom Helm, London Current vol 15; n° 4 ; 5p.

MALCOVA, R., VOSATKA, M., GRYNDLER, M., 2003. Effects of inoculation with *Glomus intraradices* on lead uptake by *Zea mays* L. and *Agrostis capillaries* L. *Soil Ecology* n° 23; pp. 55-67.

MANLAY, R.J., MASSE, D., CHOTTE J.L., FELLER C., KAIRE M., FARDOUX J., PONTANIER R., 2002. Carbon, nitrogen and phosphorus allocation in agro-ecosystems of a West African savanna. II. The soil component under semi-permanent cultivation. *Agriculture, Ecosystems & Environment* n° 88 ; pp. 233–248.

MASLIN, B.R., ORCHARD, A.E., WEST, J.G., 2003. Nomenclatura and classification history of *Acacia* (Leguminosae: Mimosoideae), and the implications of generic subdivision. *WorldWideWattle*; 56p.

MASLIN, B.R., THOMSON, L.A.J. 1993. Reappraisal of the taxonomy of *Acacia holosericea* A. Cunn. ex Don, including the description of a new species, *A. colei* and the reinstatement of *A. neurocarpa* A. Cunn. ex Hook. *Australian Systematic Botany*, n° 5; pp. 729-743.

MASSICOTTE, H.B., MELVILLE, L.H., MOLINA, R., PETERSON, R.L., 1993. Structure and histochemistry of mycorrhizae synthetised between *Arbutus menziesii* (Ericaceae) and two basidiomycetes, *Pisolithus tinctorius* (Pisolithaceae) and *Piloderma bicolor* (Corticaceae). *Mycorrhiza* n° 3; pp. 1-11.

MILLER, R.M., JASTROW, J.D. 2000 Mycorrhizal fungi influence soil structure. In **KAPULNIK Y., DOUDS D.D.** (Eds); Kluwer Academic, Dodrecht; pp. 3-18.

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.

MOSSE, B., 1986. Mycorrhizas in a sustainable agriculture. *Biol. Agri. Hort.* n° 3; pp 191-209.

MUSTIN, M., 1987. Le compost : gestion de la matière organique. Ed. François Dubusc. 954 p.

NACRO, H.B. 1997. Hétérogénéité de la matière organique dans un sol de savane humide (Lamto, CI) : caractérisation chimique et étude in vitro des activités microbiennes de minéralisation du carbone et de l'azote. Thèse doct. Univ. P et M Curie-Paris VI; 302p.

OLIVIER, R., DEPOMMIER, D., JANODET, E., 1992. Influence de *Faidherbia albida* sur le sol et le sorgho. Observations dans le parc de Watinoma au Burkina Faso. In Les parcs à *Faidherbia*. *Cahiers Scientifiques* n°12 ; CORAF ; ORSTOM ; CIRAD ; pp. 141-152.

OUATTARA, B. 1990. Etude des effets de divers substrats organiques sur les propriétés physico-chimiques d'un sol ferrugineux tropical du Burkina Faso. DEA écologie, Université de Cocody, CI. ; 62p.

PALM, C.A., 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry Systems* n° 30 ; pp. 105-124.

- PAUL, E.A., CLARK F.E., 1996.** Soil microbiology and biochemistry. Second Edition; Academic press; San Diego; 340 p.
- PEDLEY, L., 1986.** Derivation and dispersal of *Acacia* (Leguminosae), with particular reference to Australia, and the recognition of *Senegalia* and *Racosperma*. *Botanical Journal of the Linnean Society* n° 92; pp. 219–254.
- PEZZANI, F., MONTANA, C., GUEVARA, R. 2006.** Association between arbuscular mycorrhizal fungi and grasses in the successional context of a two-phase mosaic in the Chihuahuan Desert. *Mycorrhiza* n° 16 ; pp. 285 – 298.
- PFEFFER, P. E., BAGO, B., SHAGHAR-HILL, Y., 2001.** Exploring mycorrhizal function with NMR spectroscopy. *New Phytologist* n° 150; pp. 543-553.
- PIERI, C., 1989.** Fertilité des terres de savane : bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au Sud du Sahara. CIRAD-IRAT Ed. ISBN, 444 p.
- PLENCHETTE, C., DECLERCK, S., DIOP, T., STRULL, D.G., 1996.** Infectivity of monoxenique culture of the AM fungus *Glomus versiform* associated with Ri-TDNA transformed root. *Applied Microbiology and Biotechnology* n° 46 ; pp. 545-548.
- PONTANNIER, R., M'HIRI, A., AKRIMI, N., ARONSON, J., LE FLOC'H, E., 1995.** L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ? Ed. *John Libbey Eurotext*, Paris, 455 p.
- QUILAMBO, O. A., 2003.** The vesicular arbuscular mycorrhizal symbiosis. Review. *African Journal of Biotechnology*, vol. 2 ; n° 12; pp. 539-546.
- RAHMAN, M.K., PARSONS, J.W., 1997.** Effects of inoculation with *Glomus mosseae*, *Azorhizobium caulinodans* and rock phosphate on the growth of and nitrogen and phosphorus accumulation in *Sesbania rostrata*. *Biol. Fertil. Soil* n° 25; pp. 47-52.
- RAJAPAKSHA, R. M. C. P., TOBOR-KAPŁON, 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.
- REDDEL, P., WARREN, R., 1987.** Inoculation of *Acacia* with mycorrhizal fungi: potential benefits, In TURNBULL, J.W. (Eds), *Australian Acacias in developing countries*. ACIAR proceeding n° 16 ; pp. 50-53.
- RIDENOUR, W.M., CALLAWAY, R.M., 2001.** The relative importance of allelopathy in interference: the effects of an invasive weed on a native bunchgrass. *Ecologia* n° 126 ; pp 444-450.
- RILLIG, M.C., LUTGEN, E R., RAMSEY P W., KLIRONOMOS J N., GANNON J E., 2005.** Microbiota accompanying different arbuscular mycorrhizal fungal isolates influence soil aggregation. *Pedobiologia* n° 49 ; pp. 251-259.
- RILLIG, M.C., MUMMEY, D., 2006.** Mycorrhizas and soil structure. Transley review. *New Phytologist* n° 171 ; pp. 41-53.

- RILLIG, M.C., WRIGHT, S.F., NICHOLS, K.A., SCHIDT, W.F., TORN, M.S., 2001.** Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. *Plant and Soil* n°233, pp. 167-177.
- ROOSE, E., 1991.** Capacité des jachères à restaurer la fertilité des sols pauvres en zone Soudano-sahélienne. Dans : *La jachère en Afrique de l'Ouest*. Ed. ORSTOM 1993; pp. 233-244.
- RUFYIKIRI, G, DECLERCK, S, DUFÉY, JE, DELVAUX, B. 2000.** Arbuscular Mycorrhizal fungi might alleviate aluminium toxicity in banana plants. *New Phytologist* n° 148; pp. 343-352.
- 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. *Physologia Plantarum* n° 95 pp. 472-478.
- RUFYIKIRI, G, DECLERCK, S, DUFÉY, JE, DELVAUX, B., 2000.** Arbuscular Mycorrhizal fungi might alleviate aluminium toxicity in banana plants. *New Phytologist* n° 148; pp. 343-352.
- SALL, S.N., MASSE, D., BADIANE, N.Y.N., CHOTTE JL., 2006.** Does cropping modify the decomposition function and the diversity of the soil microbial community of tropical fallow soil? *Applied Soil Ecology* n° 31; pp. 211-219.
- SANCHEZ-DIAZ, M., HONRUBIA, M., 1994.** Water relations and alleviation of drought stress in mycorrhizal plants. -In *Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems*, (S. GIANNINAZZI and H. SCHUEPP. eds). pp. 167-178.
- SANON, A., MARTIN, P., THIOULOUSE, J., PLENCHETTE, C., SPICHIGER, R., LEPAGE, M., DUPONNOIS, R., 2006.** Displacement of an herbaceous plant species community by mycorrhiza land non-mycorrhizal *Gmelina arborea*, an exotic tree, grown in microcosm experiment. *Mycorrhiza* n° 16; pp. 125-132.
- SCHÜSSLER, A., SCHWARTZZOTT, D. & WALKER, C., 2001.** A new phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution. *Mycological Research* n° 105; pp.1413-1421.
- SEDOGO, P.M., 1981.** Contribution à la valorisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride (matière organique du sol et nutrition azotée des cultures). Thèse de docteur Ingénieur sciences agronomiques. Institut National Polytechnique de lorraine-Nancy, 198 p.
- SEDOGO, P.M., 1993.** Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de doctorat .univ. cocody. C.I., 285 p.
- SEGDA, Z., HIEN, V., LOMPO, F., BAYALA, J., BECKER, M., 1996.** Gestion améliorée de la jachère par l'utilisation de légumineuses de couverture. In **FLORET C.** pp. 133-139.

SERPANTIE, G., OUATTARA, B., 2001. Fertilité et jachère en Afrique de l'Ouest. In FLORET C., PONTANIER R., (Ed). John Libbey Eurotext, Paris, vol 2; pp. 21-83.

SJÖBERG, J., 2005. Arbuscular Mycorrhizal Fungi: occurrence in Sweden and interaction with a plant pathogenic fungus in Barkley. Doctoral thesis; Swedish University of Agriculture Sciences; Uppsala 2005 ; 56 p.

SLEZACK, S., DUMAS-GAUDOT, E., PAYNOT, M., GIANINAZZI, S., 1999. Is fully Established arbuscular mycorrhizal symbiosis required for bioprotection of *Pisum sativum* root against *Aphanomyces euteiches*. *Molecular Plant-Microbe Interactions* vol. 13; n° 2; pp. 238-214.

SIMMONS, M.H., 1981. Acacias of Australia. Melbourne, Australie, Nelson, 326p.

SMITH, S.E., NICHOLAS, D.J.D., SMITH, F.A., 1979. Effect of early mycorrhizal infection on nodulation and nitrogen fixation in *Trifolium subterraneum*. L. Aust. J. Plant Physiol. n° 6; pp. 305-316.

SMITH, S.E., READ, D.J., 1997. Mycorrhizal Symbiosis. 2nd Ed. Academic Press; London, UK; 605p.

SOME, D., ZOMBRE, N.P., ZOMBRE, G., MACAULAY, H.R., 2004. Impact de la technique du zaï sur la production du niébé et sur l'évolution des caractéristiques chimiques des sols très dégradés (zippellés) du Burkina Faso. *Sécheresse*, vol 15, n° 3 ; pp. 263 - 269.

SOME, N.A., 1996. Les systèmes écologiques post-cultureux de la zone soudanienne (Burkina Faso) : Structure spatio-temporelle des communautés végétale et évolution des caractères pédologiques. Thèse de Doctorat de l'Univ. Pierre et Marie Curie. Paris 6. 212 p.

STRAKER, C.J., 1996. Ericoid mycorrhiza: ecological and host specificity. *Mycorrhiza* n° 6; pp. 215-225.

STRULLU, D.G., 1991. Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées. Techniques et Documentation Lavoisier ; 3^{ème} Edition, Paris, 250p.

STRULLU, D.G., DIOP, T., PLENCHETTE, C., 1997. Réalisation de collections in vitro de *Glomus intraradices* (Schenck et Smith) et *Glomus versiforme* (Karsten et Berch) et proposition d'un cycle de développement. Acad. Sci., n° 320; pp. 41-47.

TEKLAY, F., NORDGREN A., MALMER A., 2005. Soil respiration characteristics of tropical soils agricultural and forest land-uses at Wondo Genet (Ethiopia) in response to C, N and P amendements. *Soil Biology & Biochemistry*; article in press, pp. 1-9.

THOMAS, W., RUFTY, W., WEI, S., SHU, L.J., 2006. Mycorrhizal mediation of plant N acquisition and residue decomposition: Impact of mineral N inputs. *Global Change Biology* n° 12 ; pp. 793-803.

THOMPSON J. P., 1994. Inoculation with cropped soil overcomes long-fallow disorder of linseed (*Linum usitatissimum* L.) by improving P and Zn uptake. *Soil Biology and Biochemistry* n° 26 ; pp. 1133-1143.

TIAN G., KANG B.T., BRUSSAARD L., 1992. Effects of chemical composition on N, Ca and Mg release during incubation of leaves from selected agroforestry and fallow species. *Biochemistry* n° 16; pp. 103–119.

TILANDER Y., 1996. Decomposition of agroforestry leaf mulches Burkina Faso, *In* Competition for and conservation of water and nutrients in agroforestry systems in semi-arid West Africa. Swedish University of agricultural science, Thesis report n° 86, pp. 294-308.

TRAPPE, J.M., MOLINA, R., CASTELLANO, M., 1984. Reactions of mycorrhizal fungi and mycorrhiza formation to pesticides. *Annual Review of Phytopathology* n° 22; pp. 331-359.

TRESEDER K.K., ALLEN M.F., 2002. Direct nitrogen and phosphorus limitation of arbuscular mycorrhizal fungi; a model and field test. *New Phytologist* n° 155 ; pp. 507-515.

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.

TURNBULL J.W., 1986. Multipurpose Australian trees and shrubs for fuelwood and Agroforestry, ACIAR Monograph n° 1; 316p.

VALENTIN C., 1991. Mise en culture d'une souche de *Glomus intraradices*. Mémoire DSER. Sciences Vies. Faculté des Sciences Dijon ; 54p.

VAN DER HEIJDEN M.G.A., KLIRONOMOS J.N., URSIC M., MOUTOGLIS P., TREITWOLF-ENGEL R., BOLLER T., WIEMKEN A., SANDER I.R., 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* n° 396; pp. 69-72.

VAN DER KRIFT, T.A.J., GIOACCHINI, P., KUIKMAN, P.J., BERENDSE, F., 2001. Effects of high and low fertility plant species on dead root decomposition and nitrogen mineralization. *Soil Biology & Biochemistry* n° 33; pp. 2115-2124.

VESTBERG, M., SAARI, K., KUKKONEN, S., HURME, T., 2005. Mycotrophy of crop in rotation and soil amendment with peat influence the abundant and effectiveness of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi in field soil. *Mycorrhiza* n° 15, pp. 447-458.

VITOUSEK, P.M., HAHENSCHWELER, S., OLANDER, L., ALLISON, S., 2002. Nitrogen and nature. *Ambio* n° 31, pp. 837-843.

WAMBERG, C., CHRISTENSEN, S., JAKOBSEN, I., MULLER, A.K., SORENSEN, S.J., 2003. The mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*) affects microbial activity in the rhizosphere of pea plants (*Pisum sativum*). *Soil Biology and Biochemistry* n° 35, pp. 1349-1357.

WARDLE, D.A. 1992. A comparative assessment of factor which influences microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* n° 67; pp. 321-358.

WARDLE, D.A., YEATES G.W., BRAKER G.M., BONNER M., 2006. The influence of plant litter diversity on decomposer abundance and diversity. *Soil Biology & Biochemistry* n° 38; pp. 1052-1062.

WEST, H.M., 1996. Influence of arbuscular mycorrhizal competition between *Holcus lanatus* and *Dactylis glomerata* J. Ecol. n° 84; pp. 429-438.

WHITTAKER, R.H., FEENY, P.P., 1971. Allochemicals: chemical interaction between species. *Science* n° 171; pp. 757-770.

WRIGTH, S.F., STARR, J.L., PALTINEANU, I.C. 1999. Changes in aggregate stability and concentration of glomaline during tillage management transit. *Soil Sci. Soc. Am. J.* n° 63, pp. 1825-1829.

WU, S.C., CAO, Z.H., LI, Z.G., CHEUNG, K.C., WONG, M.H., 2005. Effect of bio fertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma* n°125; pp. 155-166.

YOSSI. M., KAYA, B., SANOGO, M., 2000. La jachère améliorée au Mali méridional : Influence sur la production fourragère, la fertilité du sol et la production de maïs. In FLORET CH., PONTANIER R. (Eds). La jachère en Afrique tropicale vol 1 ; pp. 569-576.

ZAK, J.C., WILLIG, M.R., MORHEAD, D.L., WILDMAND, H.G., 1994. Functional diversity of microbial communities: a quantitative approach. *Soil Biology & Biochemistry* n°26 ; pp. 1101-1108.

ZERBO, L., 1995. Caractéristiques des sols des stations de recherche agricoles de l'INERA : Kamboinsé, Faroko-Bâ, Saria et Niangoloko. INERA/ Cellule Télédétection et SIG ; 114p.

ZOUGMORE, R., 1999. Plantes de couvertures et lutte contre l'érosion des sols : test de comportement d'espèces de légumineuses dans la zone centre du Burkina Faso. In CARSKY RJ., ETEKA AC., KEATINGE JDH., MANYONG VM., (Eds.) Cover cops for natural resource management in West Africa. Proceeding of IITA-CIEPCA workshop, 26-29 october 1999, Cotonou, Benin, pp. 214-220.

ANNEXE

Annexe 1 : Caractéristiques physico-chimiques du sol initial de l'essai

Date	: 1996		
Classification CPCS (1967)	: Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés moyennement profonds		
Légende FAO (1988)	: Lixisols ferriques phase pétroferrique		
Physiographie	: Glacis moyennement érodé		
Type d'érosion	: en nappe et en rigole		
Types d'analyses	Intitulés	0 – 20 cm	20 – 55 cm
Analyses mécaniques	Argile %	21,50	36,75
	Limon fin %	4,25	7,75
	Limon grossier %	18,07	17,08
	Sable fin %	37,50	16,45
	Sable grossier %	18,68	21,97
	Texture	LAS	LA
Matières organiques	Matière organique %	1,10	0,40
	Carbone %	0,61	0,26
	Azote %	0,04	0,02
	C/N %	15,25	8,60
Bases échangeables Még / 100 g de terre	Calcium Ca ⁺⁺	3,53	2,67
	Magnesium Mg ⁺⁺	1,65	1,05
	Potassium K ⁺	0,20	0,19
	Sodium Na ⁺	0,07	0,14
	Somme des bases échangeables (S)	5,45	4,05
	Capacité d'échange cationique (T)	6,12	4,90
	Taux de saturation (S/T)	89,00	82,77
	Na / T	0,01	0,03
	K / T	0,03	0,04
	Mg / T	0,27	0,21
Ca / Mg	2,14	2,54	
Fer (ppm)	Fer total	0,80	1,49
Potassium (ppm)	Potassium total	1.544	2.413
	Potassium disponible	88,50	77,3
Phosphore (%)	Phosphore assimilable	0,332	0,027
Mmbos * 0,001	Conductivité	0,03	0,03
Réaction du sol	pH eau	6,9	5,8
	pH KCl	5,5	4,5
	pH eau-pH KCl	1,4	1,3
Analyses physiques	PF 2,5	13,95	22,44
	PF3,0	8,89	15,60
	PF4,2	6,79	10,78
	PF2,5-PF4,2	7,16	11,16
	PF3,0-PF4,2	2,10	4,82

Source : ZERBO (1995)

RU = 81 mm

Ic = 1,03

Annexe 2 : Les groupes de substrats utilisés pour la détermination de la CRP et leur concentration en mM

Groupe	Substrats	Concentration initiale (mM)	Concentration (mg/50 ml H₂O, d)
Acides aminés	L(+) Arginine 98%	15	130,7
	L(+) Asparagine monohydrate 98%	15	112,6
	L(+) Glutamic acid 99%	15	110,3
	L-Histidine 98%	15	116,4
	L(+) Lysine monohydrate 99%	15	123,2
	L-Serine 99%	15	78,8
	L(+) Glutamine 99%	15	109,6
	L(+) Cystéine 99+%	15	90,9
	L- Tyrosine 99+%	15	135,9
Hydrate de carbone	D(+) Glucose monohydrate	75	880,6
	D(+) Manose 99+%	75	675,6
	D(+) Saccharose	75	1283,6
Acides carboxyliques	Acide L(+) Ascorbique	100	880,6
	Acide citrique	100	1050,7
	Fumaric acid 99%	100	580,4
	Gluconic acid 50 Wt.% solution in Water	100	980,8
	2- Kétoglutaric acid 98%	100	730,5
	2- Kétobutyric acid 99%	100	510,5
	DL Malic acid 99%	100	670,5
	D(-) Quinic acid 98%	100	960,9
	Succinic acid 99%	100	590,5
	3-Hydroxybutyric acid tech,95%	100	520,6
	Uric acid 99 %	100	840,6
	Oxalic acid	100	680,4
	Malonic acid 99 %	100	520,3
	Tarttric acid	100	750,5
	Formic acid, sodium salt 99%	100	340,1
Gallic acid monohydrate c-p	100	940,6	
Tri-sodium citrate	100	1470,5	
Amides	D- Glucosamine hydrochloride 98%	100	161,7
	Succinamide 98%	100	87,1
	N-Methyl D glucamine 99%	15	146,4
	L- Phénylalamine 98,5+%	15	123,9
Polymères	Cyclohexane	100	420,8

Annexe 3 : Photos du respiromètre IRGA



Le respiromètre seul



Le respiromètre avec ses accessoires

Annexe 4 : Liste de présence des espèces par traitement

Espèces présente sur le site	Familles	Témoin	Fertilisé	Mycorhizé
<i>Acacia nilotica</i> (L.) Wild.	Momisaceae	+	-	-
<i>Acanthospermum hispidum</i> DC.	Asteraceae	-	+	+
<i>Alisicarpus ovalifolius</i> (Schum et Thonn.) J. Leonard	Fabaceae	+	+	+
<i>Andropogon pseudapricus</i> Stapf	Poaceae	-	+	+
<i>Aristida adscensionis</i> L. C.E.	Poaceae	+	+	+
<i>Barcharia lata</i> (Schum.) Hubb	Poaceae	+	+	+
<i>Bracharia villosa</i> (Lam.) A. Camus	Poaceae	+	-	-
<i>Cassia nigricans</i> Vahl.	Mimosaceae	+	+	-
<i>Cassia tora</i> L.	Caesalpiniaceae		+	-
<i>Chloris pilosa</i> Schum et Thonn	Poaceae	+	+	+
<i>Corchorus tridens</i> L.	Tiliaceae	+	+	+
<i>Crotalaria retusa</i> L. et C.L.	Fabaceae	+	-	-
<i>Cyperus esculentus</i> L.	Cyperaceae	+	+	+
<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) P. Beauv.	Poaceae	+	+	+
<i>Digitaria horizontalis</i> Wild.	Poaceae		+	
<i>Digitaria argilacea</i> (Hitch & Chase) Fernald	Poaceae	+	+	+
<i>Eragrostis ciliaris</i> R. Br.	Poaceae	-	+	+
<i>Eragrostis turgida</i> (Schum) et Wild.	Poaceae	-	+	+
<i>Fimbristylis hispidula</i> (Vahl) Kunth.	Cyperaceae		+	+
<i>Indigofera tinctoria</i> L.	Fabaceae	+	+	-
<i>Ipomea conscinospermum</i>	Convolvulaceae		+	-
<i>Ipomea eriocarpa</i> R. Br.	Convolvulaceae	+	+	+
<i>Leucas martinicensis</i> (Jacq.) Ait.	Lamiaceae	-	+	+
<i>Mitracarpus villosus</i> (Swartz) de Candolle	Rubiaceae	-	+	
<i>Monechma ciliatum</i> (Jacquin.) Milne-Redhead	Acanthaceae	-	-	+
<i>Oldalendia corymbosa</i> L.	Rubiaceae	-	-	+
<i>Pandiaka heudelotii</i> (Moq.) Hook. F.	Amaranthaceae	-	-	+
<i>Panicum pansum</i> Rendel	Poaceae	-	+	
<i>Pennisetum pedicellatum</i> Trin.	Poaceae	+	+	+
<i>Peristhophe bicaliculata</i> (Retzius) Nees.	Acanthaceae	+	+	+
<i>Setaria palide fusca</i> (Schum.) Stapf et Hubb.	Poaceae	+	+	+
<i>Sida stipulata</i> Cav.	Malvaceae	+	+	+
<i>Spermaceae radiata</i> D. C.	Rubiaceae	+	+	+
<i>Sporobolus festivus</i> Hochst. ex A. Rich.	Poaceae	+	+	
<i>Stylosanthes hamata</i> (L) Taub.	Fabaceae	-	+	+
<i>Tephrosia pedicilata</i> Bak.	Fabaceae	+	+	+
<i>Triumphetta pentandra</i> A. Reich.	Tiliaceae	+	+	
<i>Walteria indica</i> L.	Sterculiaceae	+	+	+
<i>Zornia glochidiata</i> Reichb. Ex D. C.	Fabaceae	+	+	+
Nombre d'espèces total		24	33	27

+ : présence

- : absence

Annexe 5 : Fréquences Spécifiques (Fsi) moyennes et Contributions Spécifiques (Csi) moyennes des différentes espèces recensées au niveau des traitements

Espèces	Témoïn		Fertilisé		Mycorbizé	
	FSi M	Csi M	FSi M	Csi M	FSi M	Csi M
<i>Acacia nilotica</i> (L.) Wild.	2	0,3				
<i>Acanthospermum hispidum</i> DC.			1	0,2	2	0,7
<i>Alisicarpus ovalifolius</i> (Schum et Thonn.) J. Leonard	2	1	3	2,1	3	2,1
<i>Andopogon pseudapricus</i> Stapf			4	0,3	3	1,0
<i>Aristida adscensionis</i> L. C.E.	1	0,2	6	2,4	4	1,7
<i>Barcharia lata</i> (Schum.) Hubb	20	13	13	9,9	7	5,1
<i>Bracharia villosa</i> (Lam.) A. Camus	7	1,1				
<i>Cassia nigricans</i> Vahl.	3	1,3	2	0,9		
<i>Cassia tora</i> L.			1	0,1		
<i>Chloris pilosa</i> Schum et Thonn	8	5,2	5	2,2	2	1,5
<i>Corchorus tridens</i> L.	1	0,2	2	0,3	2	0,7
<i>Crotalaria retusa</i> L. et C.L.	1	0,3				
<i>Cyperus esculentus</i> L.	2	1,1	9	6,4	9	7,0
<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) P. Beauv.	6	3,6	2	0,3	2	0,7
<i>Digitaria horizontalis</i> Wild.			3	0,4		
<i>Digitaria argilacea</i> (Hitch & Chase) Fernald	6	3,6	11	7,9	13	9,8
<i>Eragrostis ciliaris</i> R. Br.			2	0,4	1	0,2
<i>Eragrostis turgida</i> (Schum) et Wild.			1	0,1	1	0,1
<i>Fimbristylis hispidula</i> (Vahl) Kunth.			1	0,2	4	0,9
<i>Indigofera tinctoria</i> L.	1	0,2	2	0,3		
<i>Ipomea conscinospermum</i>			1	0,2		
<i>Ipomea eriocarpa</i> R. Br.	4	2,6	4	2,3	7	3,0
<i>Leucas martinisensis</i> (Jacq.) Ait.			2	0,8	1	0,2
<i>Mitracarpus villosus</i> (Swartz) de Candolle			1	0,1		
<i>Monechma ciliatum</i> (Jacquin.) Milne-Redhead					2	0,2
<i>Oldalendia corymbosa</i> L.					1	0,1
<i>Pandiaka heudelotii</i> (Moq.) Hook. F.					1	0,1
<i>Panicum pansum</i> Rendel			1	0,1		
<i>Pennisetum pedicellatum</i> Trin.	11	6,8	10	7,6	13	10
<i>Peristrophe bicaliculata</i> (Retzius) Nees.	5	0,8	3	1,8	4	2,5
<i>Setaria palide fusca</i> (Schum.) Stapf et Hubb.	24	16	13	9,7	20	15,7
<i>Sida stipulata</i> Cav.	3	0,8	2	0,3	1	0,4
<i>Spermaceae radiata</i> D. C.	15	9,7	19	15	9	7,0
<i>Sporobolus festivus</i> Hochst. ex A. Rich.	1	0,2	1	0,1		
<i>Stylosanthes hamata</i> (L) Taub.			3	0,5	2	0,8
<i>Tephrosia pedicilata</i> Bak.	3	0,8	2	0,5	5	2,2
<i>Triumphetta pentandra</i> A. Reich.	4	0,6	3	0,8		
<i>Walteria indica</i> L.	3	0,5	1	0,1	1	0,1
<i>Zornia glochidiata</i> Reichb. Ex D. C.	48	31	35	26	33	26
	154	100	133	100	128	100

Annexe 6 : Résultats de l'analyse statistique de la quantité moyenne de CO₂ dégagé par substrat et par traitement

Substrats	Abréviation	Fertilisé	Mycorhizé	Témoin	Probabilité
Tyrosine	Tyr	18,915a	18,876a	18,354a	0,49
L- Sérine	L-Ser	13,767a	10,37b	8,18c	0,003
L(+) Lysine Monohydrate	L(+) Lys Mon	0b	0b	0,471a	<0,0001
L(+) Histidine 98%	L(+) His	1,275a	0,867a	0,163b	0,014
Asparagine Monohydrate	Asp M	2,396a	1,218b	1,204b	0,001
L(+) Glutamine	L(+) Glu	2,068a	4,543a	1,644a	0,058
D (+) Mannose	D(+) Man	5,341a	1,956b	0,798b	<0,0001
Acide Glutamique	Ac Glu	24,441a	24,771a	22,882a	0,063
Acide Oxalique	Ac Oxa	20,57a	21,879a	20,755a	0,064
Acide succinique	Ac Succ	8,147a	7,375a	7,217a	0,782
D(+) saccharose	D(+) Sac	5,507a	3,984b	5,396a	0,029
Acide Gluconique	Ac Gluc	5,066a	4,407a	3,433a	0,238
Hydroxybutyric	Hydrox	9,574c	13,713b	18,888a	<0,0001
Acide L(+) ascorbique	Ac L(+) Asc	18,88a	18,724a	16,984a	0,119
Acide Gallique	Ac Gal	23,351b	26,664b	33,96a	0,004
Acide Malonique	Ac Malo	6,802b	11,488a	12,189a	0,013
Acide Tri-sodium Citrate	Ac Tri-S Cit	24,7a	24,881a	20,316b	<0,0001
Acide Formique	Ac For	35,466a	34,22a	28,301b	0,003
D(+) Arginine	D(+) Arg	0,233a	0,006a	0,174a	0,32
Acide citrique	Ac Citr	23,715a	23,727a	19,853b	<0,0001
Acide Ketobutyrique	Ac Ketb	6,095b	10,237a	4,648b	0,043
L(+)-Cysteine	L(+) Cys	23,223a	25,157a	23,703a	0,222
Succinamide	Succ	7,284a	5,933b	4,185b	<0,0001
D-Glucosamine hydrochloride	D-Glucsa Mon	8,489b	8,332b	10,666a	0,008
Cyclohexane	Cycl	0,000a	0,000a	0,000a	0,187
DL-Phénylalanine	DL-Phen	8,32a	5,923b	4,312b	<0,0001
Acide Urique	Ac Uri	5,911a	5,666a	1,741b	0,000
Acide tartrique	Ac Tart	9,245a	6,21b	1,75c	<0,0001
Acide kétoglutarique	Ac Ketg	16,924a	17,346a	15,281a	0,301
N-Méthyl Glucamine	N-Meth Glu	19,323a	21,781a	10,911b	<0,0001
D(+) Glucose Monohydrate	D(+) Glu Mon	17,291a	9,298b	15,957a	<0,0001
Acide Malique	Ac Mali	18,502a	17,637a	17,635a	0,906
Acide Quinic	Ac Quin	14,975b	18,095a	13,702ba	0,353
Acide Fumaric	Ac Fum	18,594a	22,751a	17,223a	0,196

NB : les moyennes d'une même colonne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité 5% d'après le test de Newman-Keuls.