

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL

BURKINA FASO
Unité-Progress-Justice

N° d'ordre :/2009



THÈSE

En vue de l'obtention du
DOCTORAT D'ETAT ès-SCIENCES NATURELLES
OPTION : Systèmes de production végétale
SPECIALITE: Sciences du sol

Par
ASIMI Salawu

THÈME:

**INFLUENCE DES MODES DE GESTION DE LA FERTILITE DES
SOLS SUR L'ACTIVITE MICROBIENNE DANS UN SYSTEME DE
CULTURES DE LONGUE DUREE AU BURKINA FASO**

Soutenue publiquement le 4 février 2009 devant le jury composé de :

Président : TRAORE S. Alfred
Membres: NACRO H. Bismack

SOME N. Antoine

SEDOGO P. Michel

YAO-KOUAME Albert

Professeur titulaire, Université de Ouagadougou
Maître de conférences, Université Polytechnique
de Bobo-Dioulasso
Maître de conférences, Université Polytechnique
de Bobo-Dioulasso
Directeur de Recherche, CNRST Ouagadougou,
(co-directeur de Thèse)
Maître de conférences, université de Cocody
(Directeur de Thèse)

JE DÉDIE CETTE THÈSE À TOUTE MA FAMILLE
À QUI JE DIS GRAND MERCI POUR SON SOUTIEN

Remerciements

J'adresse mes sincères remerciements au Président de l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso et ses collaborateurs pour leur accueil et toutes les facilités qu'ils nous ont offertes en vue de la soutenance de cette thèse.

:

Je remercie le Délégué Général du Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique Ouagadougou et le Directeur de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles ainsi que leurs collaborateurs pour leurs soutiens multiples et multiformes.

J'exprime toute ma gratitude au Professeur Albert Yao-Kouamé, enseignant à l'Université de Cocody (Abidjan), pour avoir accepté de diriger cette thèse. Ses divers conseils et la disponibilité dont il a fait montre m'ont permis de réaliser ce travail.

Je témoigne ma reconnaissance aux Docteurs Célestin P. Bélem et Paco Sérémé, anciens directeurs de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, pour m'avoir donné toutes les facilités matérielles et financières, à travers le financement de l'Etat burkinabè (PRA I et PNDSA II) en vue de réaliser ce travail.

L'étude a également été réalisée grâce au projet INCO-DC intitulé : Minimising Competition in Dryland Agroforestry (MCDA) financé par l'Union Européenne à qui j'adresse mes sincères remerciements.

Je voudrais rendre un vibrant hommage au regretté Ayémou Assa, précédemment Professeur à l'UFR/STRM Université de Cocody (Abidjan) pour sa contribution inestimable à la réalisation de ce travail. Ses visites sur le terrain et ses nombreux conseils ont été déterminants pour la finalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer tout particulièrement ma profonde reconnaissance au Docteur Michel P. Sédogo, Directeur de Recherche au CREAM de Kamboinsé, pour avoir co-dirigé ce travail. Sa grande compétence, le temps qu'il a bien voulu me consacrer pour les discussions et la confiance qu'il m'a toujours accordée, m'ont été d'un grand apport pour la réalisation de ce travail.

Je remercie très sincèrement le Professeur Alfred S. Traoré, Directeur du Centre de Recherches en Sciences Biologiques, Alimentaires et Nutritionnelles (Université de Ouagadougou), pour s'être intéressé à mon travail et avoir accepté de présider le jury. Je lui témoigne ici toute ma gratitude.

Le Professeur Antoine N. Somé, Directeur de l'IDR à l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, malgré ses multiples occupations s'est intéressé à ce travail et a bien accepté de faire partie du jury. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Je remercie le Professeur Bismack H. Nacro, Directeur Adjoint de l'IDR à l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, pour avoir contribué à la réalisation de ce travail et accepté d'être membre du jury de cette thèse. Il a été notre interlocuteur auprès de l'UPB et a toujours été très attentif à toutes nos sollicitations.

J'adresse tous mes remerciements au Docteur Victor Hien, Directeur de Recherche au CREAM de Kamboinsé, pour son aide précieuse, ses encouragements soutenus et sa constante disponibilité.

J'exprime toute ma reconnaissance au Docteur Dayéri Dianou, Maître de Recherche à l'IRSS Ouagadougou, pour ses conseils, ses multiples soutiens matériels, ses encouragements et tout le travail qu'il a abattu pour la mise en forme de ce mémoire.

Je remercie sincèrement le Docteur François Lompo, Directeur Adjoint chargé des Programmes INERA Ouagadougou, pour avoir œuvré sans relâche, tant au niveau du CNRST qu'à celui des structures universitaires, pour l'aboutissement de ce travail.

Je dis grand merci à Babou A. Bationo, Théophile O. Dibloni, Jean-Marie Ouadba, Sibiri J. Ouédraogo, Jules Bayala, Cathérine Dembélé/Ky, François Pallo, Badiori Ouattara, pour leur aide et l'attention particulière qu'ils ont accordée à ce travail.

Je remercie tous mes collègues chercheurs du volet Amélioration Génétique et Association Symbiotique et tout le personnel du Département Productions Forestières pour leur collaboration.

Mes remerciements s'adressent également à Lassané Ilboudo, Technicien de Laboratoire au Département Productions Forestières, Koné Ngafien, Marcel Bazié et Zongo Abel pour leur contribution à la réalisation de ce travail..

Je dis également grand merci à Monsieur Sansan Youl et au regretté Hamidou Koama pour les appuis divers qu'ils m'ont apportés en matière informatique. Que tout le personnel des laboratoires d'analyses des sols de Kamboinsé et de Saria trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour son soutien matériel et technique.

CIGLES ET ABREVIATIONS

CILSS : Comité Inter Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel

CMG : Carbone minéralisable du compartiment global

CNRST : Centre National de Recherche Scientifique et Technologique

CSAO : Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest

CTIG : Cellule de Télédétection et Information Géographique

FAO : Organisation de Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

fm : Fumure minérale faible

FM : Fumure minérale forte

fmo : Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier

FMO : Fumure minérale forte+40t/ha/2ans de fumier

fmr : Fumure minérale faible avec restitution de paille

ICRISAT : International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics

IITA : International Institute for Tropical Agriculture

INERA :Institut d'Environnement et de Recherches Agricoles

INSD :Institut National de la Statistique et de la Démographie

MPN : Most probable number

MO : Matière organique

MSA : Masse sèche aérienne

MSR : Masse sèche des racines

MST : Masse sèche totale

NST: Non stérile

OCDE : Organisation pour la Coopération et le Développement Economique

PA : Partie aérienne

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

SN :Sorgho-niébé

SS : Sorgho-sorgho

ST: Stérile

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I- Consommation totale d'engrais dans les pays en développement (Chine non comprise)	13
Tableau II- Données estimatives des quantités d'azote fixées par quelques espèces	25
Tableau III- Caractéristiques chimiques des sols de Saria	50
Tableau IV- Caractéristiques physiques des horizons 0-20 et 20- 50 cm des sols de Saria	51
Tableau V- Caractéristiques chimiques des sols de l'Essai Entretien de la Fertilité de Saria	55
Tableau VI- Caractéristiques chimiques des sols des champs paysans de Saponé et de Saria	56
Tableau VII- Production de nodules des plants de niébé cultivés en vases de végétation (valeurs moyennes de 6 répétitions)	77
Tableau VIII- Poids de la matière sèche du niébé en fonction des traitements (valeurs moyennes de 6 répétitions, exprimées en milligrammes)	79
Tableau IX- Fréquence et intensité d'infection des racines de sorgho cultivé au champ dans les parcelles des rotations sorgho-sorgho et sorgho-niébé .	83
Tableau X- Fréquence et intensité d'infection des racines de sorgho cultivé en vases de végétation dans les rotations sorgho-sorgho et sorgho-niébé.	84
Tableau XI- Coefficients de corrélation (r) entre les paramètres chimiques des sols, le nombre de nodules et l'intensité d'infection des racines de niébé cultivé en vases de végétation (moyenne de 2 répétitions)	88

Tableau XII- Valeurs cumulatives de l'intensité respiratoire des sols après 21 jours d'incubation en mg C/100 g de sol (moyennes de 3 répétitions)	93
Tableau XIII– Relations entre la respiration et les caractéristiques chimiques des sols (moyennes de 3 répétitions par traitement des coefficients de corrélation)	95
Tableau XIV- Carbone minéralisable du compartiment global (CMG) dans les rotations sorgho-sorgho et sorgho-niébé	98
Tableau XV- Valeurs moyennes de la biomasse microbienne (moyennes de 3 répétitions)	99
Tableau XVI– Coefficients de corrélation entre la biomasse-C et les paramètres chimiques des sols (P, C, N et pH eau) dans les rotations sorgho-sorgho et sorgho-niébé (moyennes de 3 répétitions)	101
Tableau XVII- Evolution de l'activité journalière des germes ammonifiants, en fonction du temps d'incubation et des traitements (3 répétitions par dilution)	107
Tableau XVIII : Intensité respiratoire cumulée des sols après 21 jours d'incubation exprimée en mg C/100g de sol	116
Tableau XIX : Valeurs cumulatives de l'intensité respiratoire des sols chauffés à 120°C (moyennes de 3 répétitions)	119
Tableau XX- Influence du traitement thermique sur les paramètres chimiques du sol dans le dispositif expérimental de Saria (moyennes de 2 répétitions)	120
Tableau XXI- Influence du traitement thermique du sol sur la biomasse des plantes de sorgho dans le dispositif expérimental de Saria (moyennes de 2 répétitions)	125
Tableau XXII: Influence du traitement thermique des sols sur la biomasse des plantes de niébé dans le dispositif expérimental de Saria (moyennes de 6 répétitions)	126

Tableau XXIII: Rendement des plantes de sorgho dans les sols de Kamboinsé et le parc du CNRST (valeurs moyennes de 6 répétitions).	128
Tableau XXIV: Rendement des plantes de niébé dans les sols de Kamboinsé et le parc du CNRST (valeurs moyennes de 6 répétitions)	131
Tableau XXV- Influence du traitement thermique du sol sur la teneur en N et P des plantes de sorgho (valeurs moyennes de 2 répétitions)	133.

LISTE DES FIGURES

Figure 1- Nodules de quelques espèces végétales	15
Figure 2- Structures caractéristiques des mycorhizes à vésicules et arbuscules	18
Figure 3 - Effet bénéfique de l'inoculation des souches de <i>Rhizobium</i> efficaces sur la croissance d' <i>Acacia</i> <i>holosericea</i> cultivé sur un sol pauvre en azote Source ; (Cornet et Diem, 1982)	26
Figure 4 – Croissance des plants de <i>Glycine max</i> non mycorhizé (+R-M) , mycorhizé (+R+M) et avec apport de phosphore (R+P) Source : (Asimi et al., 1978)	30
Figure 5 - Effet de l'inoculation avec <i>Rhizobium</i> (R) et avec <i>Rhizobium</i> + <i>Glomus mosseae</i> (RM) sur la croissance d' <i>Acacia raddiana</i> .	30
Figure 6– Le Burkina Faso : Découpage agro-écologique des régions	37
Figure 7-Températures moyennes de la Station de Saria sur une période de dix années (1991 à 2001).	47
Figure 8- Précipitations moyennes de la Station de Saria sur une période de dix années (1991 à 2001).	48
Figure 9 – Carte morphologique de reconnaissance de Saria (Burkina Faso)	49
Figure 10– Plantes de sorgho (variété ICSV 1049) en pleine épiaison dans l'Essai Entretien de la Fertilité de Saria	58
Figure 11 – Plantes de niébé (variété KN1) présentant des fleurs et des gousses	58
Figure 12- Poids sec total par plante (a) et nombre (b) de nodules Des plantes de nodules cultivées au champ	75
Figure 13- Fréquence (a) et intensité d'infection (b) des racines par le champignon mycorhizien chez le niébé	81
Figure 14– Relations entre le taux de nodulation et le carbone	

organique du sol chez le niébé	86
Figure 15 – Relations entre le taux de nodulation et l'azote total du sol chez le niébé	86
Figure 16 – Relations entre le taux de nodulation et le phosphore assimilable du sol chez le niébé	86
Figure 17 – Relations entre le taux de nodulation et le pH eau du sol chez le niébé	86
Figure 18– Relations entre le taux de mycorhization et le carbone organique du sol chez le niébé	87
Figure 19– Relations entre le taux de mycorhization et l'azote total du sol chez le niébé	87
Figure 20– Relations entre le taux de mycorhization et le le phosphore assimilable du sol chez le niébé	87
Figure 21– Relations entre le taux de mycorhization et le pH eau chez le niébé	87
Figure 22- Courbes cumulatives du CO ₂ dégagé dans la rotation sorgho-sorgho	90
Figure 23- Courbes cumulatives du CO ₂ dégagé dans la rotation sorgho-niébé	91
Figure 24- Evolution de la biomasse-C (C mg/kg de sol) et du poids paille du sorgho (mg/plante) cultivé en vases de végétation.	102
Figure 25- Biomasse-C (C mg/kg de sol) et poids grain du sorgho kg/ha) cultivé au champ.	102
Figure 26 -Relations entre la biomasse-C et la production de paille de sorgho cultivé en vases de végétation.	103
Figure 27- Relations entre la biomasse-C et la production de grain de sorgho cultivé au champ.	103

Figure 28 – Evolution de l'activité journalière des bactéries ammonifiantes en fonction de la durée d'incubation dans les différents traitements (exprimée en nombre de tubes positifs)	104
Figure 29 – Densité des germes nitrifiants révélés après 20 jours d'incubation à la température de 28°C des différents traitements	108
Figure 30- Evolution de l'activité journalière des bactéries amylolytiques en fonction de la durée d'incubation et des traitements	110
Figure 31- Evolution globale de l'activité des bactéries amylolytiques	111
Figure 32- Evolution des densités des germes hydrolysant l'amidon en fonction des traitements dans la rotation sorgho-niébé	112
Figure 33 : Densité des germes nitrifiants dans les sols	114
Figure 34 : Dégradation du maltose (en mg de C. pour 100 g de sol) dans les sols de Kamboinsé et du CNRST.	114
Figure 35- Effet intensité de chaleur sur l'azote (parcelle de Saponé à VP)	122
Figure 36 - Effet intensité de chaleur sur le pH eau (parcelle de Saponé à VP)	122
Figure 37- Effet intensité de chaleur sur le carbone (parcelle de Saponé à VP)	123
Figure 38 – Effet intensité de chaleur sur le phosphore (parcelle de Saponé VP)	123
Figure 39- Rendement du sorgho à Saria (peuplement de <i>V. paradoxa</i>)	132
Figure 40- Rendement du sorgho à Saponé (peuplement de <i>V. paradoxa</i>)	132
Figure 41- Rendement du sorgho à Saponé (peuplement de <i>P. biglobosa</i>)	132

RESUME

L'influence des modes de gestion de la fertilité des sols sur l'activité des microorganismes du sol a été étudiée. Les travaux ont été réalisés principalement sur des sols provenant du dispositif expérimental de l'Essai Entretien de la Fertilité de Saria et des sols collectés dans les champs paysans à Saponé, Saria et Kamboinsé et dans le parc botanique du CNRST/Ouagadougou.

Les paramètres biologiques (potentiel nodulant et mycorhizogène du sol, activité biologique et activité des bactéries responsables de la transformation des composés dérivés du carbone et de l'azote) et les paramètres chimiques des sols (carbone, azote, phosphore et pH eau) ont été analysés.

L'étude a montré que l'apport des fumures réduit le taux de mycorhization des plantes de sorgho et de niébé, comparativement au témoin sans fumure. Elle a aussi indiqué que la fumure minérale combinée à la matière organique a amélioré significativement le taux de nodulation des plantes de niébé par rapport à la fumure minérale seule.

Pour l'activité biologique du sol, l'étude a révélé une incidence significative de la fumure organo-minérale forte par rapport aux autres fumures. L'analyse des corrélations a mis en exergue une corrélation positive entre l'activité biologique et les paramètres chimiques du sol (carbone organique, azote total, phosphore assimilable), elle a par ailleurs indiqué que la rotation sorgho-niébé présente une activité biologique légèrement supérieure à celle de la rotation sorgho-sorgho.

L'étude a également montré que l'apport de la matière organique améliore l'activité des bactéries minéralisant l'azote et que la fumure organo-minérale forte ralentit le processus de transformation du carbone.

L'étude a, en outre, révélé que le traitement thermique a modifié les paramètres chimiques et biologiques du sol et favorisé l'accroissement des rendements des cultures. Les modifications les plus importantes ont porté sur l'activité biologique des sols et la production des plantes de sorgho et niébé. Les valeurs moyennes de ces deux composantes ont été significativement plus élevées dans les sols traités que ceux non traités.

Pour les paramètres chimiques du sol, l'incidence du traitement thermique a été relativement faible : la matière organique et le rapport C/N ont légèrement augmenté, respectivement de 7 à 10 pour cent tandis que le pH a subi une légère baisse de 3 pour cent. Les teneurs en phosphore et azote total, avec ou sans traitement thermique, n'ont pas varié.

Mots clés : Activité biologique ; Fertilisation ; Mycorhizes ; Microorganismes ; Sols ; Traitement thermique ; Burkina Faso.

ABSTRACT

EFFECTS OF SOIL FERTILITY MANAGEMENT ON MICROBIAL ACTIVITY IN A LONG TERM CROP SYSTEM PRODUCTION IN BURKINA FASO

Polyethylene pots and field studies were carried out to evaluate the effects of soil fertility management on soil microbial activity. Soils collected from Saria agronomic research centre in Burkina Faso and soil samples from Saponé, Saria, and kamboinsé farmers fields and also from the botanic park of CNRST/Ouagadougou were used.

Endomycorrhizae, rhizobia, nitrifying and starch-hydrolysing bacteria activities were analysed. Soil global biological activity and the modifications due to heat treatment on soil were also investigated.

The experiment showed that fertilizers application affected soil mycorrhizae effectiveness. Combined application of organic-inorganic fertilizers significantly improved nodules formation in of cowpea compared to unfertilized control.

The study also indicated that the highest soil microbial activities were recorded in high organic-inorganic treatment. Sequel to the unfertilized control there was 35 per cent increase in soil respiration intensity and 70 per cent in soil microbial biomass.

The study showed that application of organic matter improved nitrogen mineralizing bacteria activity. It indicated also that high soil content of organic and inorganic fertilizers delayed the carbon mineralization process.

Soil heating treatment significantly enhanced its biological activity and induced only slight modifications in soil chemical concentration. Biological activity of treated soils was significantly higher than that of no treated soils. The C/N ratio increased by 10 per cent and soil organic matter by 7 per cent whereas soil pH

dropped a bit. Sorghum and cowpea plants yield on heated soils were significantly higher than those of no heated control soils. In the same way highest nitrogen and phosphorus concentrations in sorghum plant were observed in heated soils.

Keys words: Biological Activity; Fertilization; Mycorrhizae; Soils; Heat treatment; Burkina Faso.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	1
PREMIERE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	5
Chapitre I : Gestion de la fertilité des sols	6
Introduction	6
1.1. Techniques de conservation des eaux et du sol	6
1.1.1. Technique du « zaï »	6
1.1.2. Paillage ou « mulching »	7
1.1.3. Cordons pierreux	7
1.1.4. Bandes végétatives	7
1.1.5. « Demi-lunes »	7
1.2. Fertilisation	8
1.2.1. Amendements organiques	8
1.2.2. Utilisation du phosphate naturel	8
1.3. Agroforesterie	8
1.3.1. Cultures en couloir	8
1.3.2. Associations arbres-cultures annuelles	9
1.3.3. Végétalisation des diguettes	9
1.4. Travail du sol	9
1.5. Association agriculture élevage	9
Conclusion	9
Chapitre II : Généralités sur les microorganismes	10
Introduction	10
2.1. Fixation d'azote : les <i>Rhizobium</i>	14
2.2. Mobilisation du phosphore	16

2.2.1. Mycorhizes	16
2.2.2. Rhizobactéries solubilisant le phosphate	20
2.3. Microorganismes minéralisant le carbone et l'azote dans le sol	21
2.3.1. Minéralisation de l'azote	21
2.3.1.1. Germes ammonifiants	22
2.3.1.2. Germes nitrifiants	23
2.3.2. Minéralisation du carbone	24
Conclusion	24
Chapitre III : Rôle et applications des microorganismes dans l'agriculture	25
Introduction	25
3.1. Inoculation des légumineuses par les <i>Rhizobium</i>	25
3.2. Inoculation des cultures par les Endomycorhizes	28
3.3. Perspectives de l'utilisation des Endomycorhizes	30
3.4. Utilisation des bactéries cellulolytiques	32
Conclusion	33
DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES	34
Chapitre IV : Présentation du cadre du travail : Contexte général du Burkina Faso	35
Introduction	35
4-1- Population	35
4-2- Organisation administrative	35
4-3- Contexte général par région	36
4.3.1. La région Sahel	36
4.3.1.1. Climat	36
4.3.1.2. Sols	36
4.3.1.3. Population et activités économiques	38
4.3.1.4. Végétation	38
4.3.2. La région est	38
4.3.2.1. Climat	38

4.3.2.2. Sols	39
4.3.2.3. Population et activités économiques	39
4.3.2.4. Végétation	39
4.3.3. La région ouest	39
4.3.3.1. Climat	40
4.3.3.2. Sols	40
4.3.3.3. Population et activités économiques	41
4.3.3.4. Végétation	41
4.3.4. La région nord-ouest	41
4.3.4.1. Climat	41
4.3.4.2. Sols	41
4.3.4.3. Population et activités économiques	41
4.3.4.4. Végétation	42
4.3.5. La région centre (Plateau Central)	42
4.3.5.1. Climat	42
4.3.5.2. Sols	42
4.3.5.3. Population et activités économiques	43
4.3.5.4. Végétation	43
Conclusion	43
 Chapitre V : Milieu d'étude : La station de recherches agricoles de Saria	 44
Introduction	44
5.1. Milieu physique	44
5.1.1. Climat	44
5.1.1.1. Vents	44
5.1.1.2. Humidité relative	45
5.1.1.3. Pluviométrie	45
5.1.2. Végétation	45
5.1.3. Hydrographie	46
5.1.4. Géomorphologie	46

5.1.5. Géologie	50
5.1.6. Les sols	50
5.1.6.1. Caractéristiques chimiques	50
5.1.6.2. Caractéristiques physiques	51
5.2. Système de production	51
5.3. Dégradation des terres	52
Conclusion	52
 Chapitre VI : Matériels utilisés	 53
Introduction	53
6.1. Echantillons de sols	53
6.2. Matériel végétal	56
6.2.1. Variété ICSV 1049	56
6.2.2. Variété KN1	56
6.3. Matériel microbien (microorganismes)	59
6.4. Fumures et engrais	59
6.5. Matériel technique	60
6.6. Matériel bureautique et informatique	60
Conclusion	61
 Chapitre VII : Méthodes utilisées	 62
Introduction	62
7.1. Prélèvement et conditionnement des sols	62
7.2. Production des plantules	62
7.3. Culture des plantes	62
7.3.1. Cultures au champ	63
7.3.2. Cultures en vases de végétation	63
7.3.2.1. Cultures en salle	63
7.3.2.2. Culture en serre	63

7.4. Traitement thermique des sols	64
7.5. Stérilisation des graines	64
7.6. Analyses chimiques des sols et des végétaux	64
7.6.1. Phosphore assimilable	64
7.6.2. Azote total	65
7.6.3. Carbone organique	65
7.6.4. pH	66
7.7. Paramètres mesurés	66
7.7.1. Chez le sorgho	66
7.7.2. Chez le niébé	67
7.8. Analyses microbiologiques	67
7.8.1. Estimation de l'activité des bactéries responsables de la transformation des substrats azotés et carbonés.	67
7.8.1.1. Bactéries ammonifiantes	68
7.8.1.2. Bactéries nitrifiantes	68
7.8.1.3. Bactéries amylolytiques	68
7.8.2. Estimation du taux de mycorhization	69
7.9. Test respirométrique	69
7.9.1. Mesure de l'activité respiratoire des sols	69
7.9.2. Détermination de la biomasse microbienne (BM)	70
7.9.3. Expression des résultats	70
7.9.3.1. Quantité de CO ₂ dégagé ou intensité respiratoire du sol	70
7.9.3.2. Biomasse microbienne	70
7.9.3.3. Carbone facilement minéralisable du compartiment global (CMG)	71
7.10. Analyses statistiques des données	71
Conclusion	71

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION	72
Chapitre VIII : Résultats	73
Introduction	73
8.1. Potentiel nodulant et mycorhizogène du sol	73
8.1.1. Potentiel nodulant du sol	73
8.1.1.1. Cultures au champ	74
8.1.1.2. Cultures en vases de végétation	76
8.1.1.3. Poids de matière sèche du niébé	78
8.1.2. Potentiel mycorhizogène du sol	82
8.1.2.1. Mycorhization du niébé	80
8.1.2.2. Mycorhization du sorgho	82
8.1.3. Etude des corrélations entre les paramètres chimiques des sols, la nodulation et la mycorhization	85
8.1.3.1. Relations entre les caractéristiques des sols et la nodulation	85
8.1.3.2. Relations entre les caractéristiques des sols et la mycorhization du niébé	85
8.2. Influence des modes de gestion de la fertilité des sols sur leur activité biologique	89
8.2.1. Cinétique de dégagement de CO ₂ des sols	89
8.2.2. Intensité respiratoire des sols	92
8.2.2.1. Effets de la rotation et de la fumure organique sur l'intensité respiratoire des sols	94
8.2.2.2. Relations entre la respiration des sols et les caractéristiques chimiques	94
8.2.2.3. Carbone minéralisable du compartiment global (CMG)	96
8.2.3. Biomasse microbienne-C	96
8.2.3.1. Effets de la matière organique et de la rotation sur la biomasse-C	97

8.2.3.2. Relations entre la biomasse-C, les paramètres chimiques et la productivité des sols	100
8.3. Influence des modes de gestion de la fertilité des sols sur l'activité des bactéries minéralisant l'azote et le carbone	104
8.3.1. Minéralisation de l'azote : ammonification et nitrification	104
8.3.1.1. Ammonification	104
8.3.1.2. Nitrification	106
8.3.2. Minéralisation du carbone : hydrolyse de l'amidon	108
8.4. Effets induits du traitement thermique sur les paramètres biologiques et chimiques du sol : conséquences sur la production des plantes	113
8.4.1. Activité des bactéries nitrifiantes	113
8.4.2. Dégradation du maltose	113
8.4.3. Effets du traitement thermique sur l'activité biologique des sols.	115
8.4.3.1. Sols de Saponé et de Saria (champ paysan)	
8.4.3.2. Sols de Kamboinsé et du parc du CNRST	118
8.4.4. Effets du traitement thermique sur les caractéristiques chimiques des sols	118
8.4.4.1. Sols du dispositif expérimental de Saria	118
8.4.4.2. Sols de Saponé	121
8.4.5. Effets du traitement thermique du sol sur la biomasse des plantes	124
8.4.5.1. Sols du dispositif expérimental de Saria	124
8.4.5.1. Sols de Saponé et de Saria	124
8.4.5.2. Sols de Kamboinsé et du parc du CNRST	127
8.4.6. Effets du traitement thermique du sol sur la teneur en P et N du sorgho	130

Chapitre IX : Discussion	133
CONCLUSION GENERALE	150
PERSPECTIVES	153
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	154
ANNEXES	179

INTRODUCTION GENERALE

Le Burkina Faso est un pays sahélien aux systèmes agricoles extensifs. Il est situé au cœur de l'Afrique de l'Ouest et s'étend entre 9°20' et 15°05' de latitude Nord, 5°20' de longitude Ouest et 2°03' de longitude Est. Il couvre une superficie de 274 000 km² avec comme pays limitrophes le Niger à l'Est, la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Togo et le Bénin au Sud, le Mali à l'Ouest et au Nord .

C'est un pays très plat avec comme altitude moyenne 400 mètres. Dans l'ensemble, le climat burkinabè est caractérisé par une saison sèche très longue (7 à 9 mois) et une courte saison pluvieuse (3 à 5 mois).

Selon les données préliminaires du Recensement Général de la Population et de l'Habitation réalisé en 2006, la population du Burkina Faso s'établit à 13 730 258 habitants dont 6 635 318 hommes et 7 094 940 femmes (Anonyme, 2006). Le taux d'accroissement annuel de cette population entre 1996 et 2006 est de 3,1 p.c.

❑ PROBLEMATIQUE

Au Burkina Faso, l'autosuffisance alimentaire demeure toujours l'un des grands défis à relever et ce malgré que 80 p.c. de la population vivent en zones rurales (Anonyme, 2006) et pratiquent l'agriculture.

Plusieurs causes expliquent la non satisfaction de l'autosuffisance alimentaire. Ce sont entre autres : la faible productivité des sols, la sécheresse persistante, le faible niveau de revenus des producteurs et la forte croissance démographique.



Faible productivité des sols

Les sols de type latéritique souffrent, comme dans la plupart des pays sahéliens, de carence en phosphore, ce qui les rend pauvres et peu fertiles

(Anonyme, 2008). Cette situation est encore aggravée par la dégradation continue des terres :

- dégradation physique provoquée par l'eau et le vent. Elle entraîne un important ruissellement et des pertes en terre considérables (Zougmore et *al.*, 2000) ;
- dégradation chimique suivie de l'acidification et de l'épuisement des éléments minéraux nutritifs ;
- dégradation biologique avec la diminution de la teneur en matière organique du sol.



Sécheresse persistante

Dans les années 1968-1972 le Burkina Faso a connu une réduction importante des précipitations qui s'est traduite par une aridification du climat caractérisé par les grandes sécheresses des années 1970 et 1980 (Anonyme, 2008). Cette situation a donné naissance au Comité permanent Inter-États de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (CILSS). Depuis lors, l'agriculture burkinabè est confrontée à une sécheresse récurrente ayant pour corollaire la baisse drastique de la production végétale.



Faible niveau de revenus des producteurs

Au Burkina Faso 46,4 p.c. de la population vit au dessous du seuil de la pauvreté avec 82 672 F par habitant et par an (Anonyme, 2003). Cette pauvreté est essentiellement rurale avec plus de la moitié de la population rurale (52,3 p.c.). Les producteurs n'ont pas accès aux nouvelles technologies (engrais, semences, techniques de conservation des eaux et des sols, etc..) qui leur sont proposées en raison du faible niveau de leurs revenus.



Forte croissance démographique

Le taux de croissance des populations burkinabè est estimé à 3,0 p.c. l'an. Cette démographie galopante entraîne une forte pression foncière qui se traduit

par le déboisement, l'agriculture itinérante, la disparition de la jachère, le surpâturage et la destruction du couvert végétal.

Pour satisfaire l'autosuffisance alimentaire des populations, l'une des solutions consiste à faire appel à des techniques de maintien ou d'amélioration de la fertilité des sols : utilisation des engrais organiques, techniques d'économie de l'eau, intégration agriculture élevage, lutte contre la désertification etc. Pour ce faire, de nombreux travaux sont réalisés ou en cours de réalisation et c'est dans cette dynamique que s'inscrit la présente étude qui se propose d'examiner l'incidence des pratiques agricoles sur l'activité des microorganismes du sol.

L'étude se justifie par le fait que les microorganismes jouent un rôle primordial dans les transformations des composés, tant minéraux qu'organiques dans le sol et qu'on doit leur accorder une attention particulière dans un concept d'une agriculture durable.

❑ **OBJECTIFS DE L'ETUDE**

Objectif principal

Contribuer à une meilleure connaissance de l'influence des pratiques culturales sur la dynamique et les activités des populations de quelques espèces de microorganismes du sol.

Objectifs spécifiques :

Ils sont de quatre ordres, à savoir :

- 1) Meilleure connaissance de l'incidence de l'apport des fumures sur l'activité des microorganismes intervenant dans la mobilisation de P, C et N ;
- 2) Etablissement des relations entre les paramètres biologiques et les composantes chimiques des sols suite à l'apport de différents types de fumures ;
- 3) Mise en évidence des fumures favorables à la préservation de l'activité des organismes du sol ;

4) Mise en exergue des modifications dues au traitement thermique du sol sur ses paramètres biologiques et chimiques et le rendement des plantes.

❑ **HYPOTHESES DE L'ETUDE**

1. Fumures minérales et /ou organo-minérales affectent l'activité des microorganismes du sol ;
2. Dose élevée de matière organique joue un rôle capital sur l'activité biologique du sol ;
3. Traitement thermique modifie les paramètres chimiques du sol et permet d'accroître les rendements des cultures.

PREMIERE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : GESTION DE LA FERTILITE DES SOLS

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES MICROORGANISMES

**CHAPITRE III : ROLE ET APPLICATIONS DES MICROORGANISMES DANS
L'AGRICULTURE**

CHAPITRE I : GESTION DE LA FERTILITE DES SOLS

Introduction

Le sol est un milieu vivant d'une extrême complexité, dont il convient de mettre en valeur toutes les possibilités pour la maîtrise des fonctions biologiques et de production (Keilling, 1997). Son niveau de fertilité évolue dans le temps, sous l'influence de pratiques culturales et provoque une baisse des rendements des cultures (Boiffin et Monnier, 1989). Il est par conséquent nécessaire d'assurer une bonne gestion de la fertilité des sols en vue de pratiquer une agriculture durable.

La grande majorité des exploitations agricoles du Burkina Faso sont petites (souvent moins d'un hectare) et la jachère, jadis utilisée pour régénérer les propriétés du sol, a disparu progressivement du fait de la forte pression démographique. Pour satisfaire les besoins alimentaires des populations, l'augmentation de la production des cultures céréalières s'impose. Cependant l'accroissement de la production va créer davantage de dégradation aux sols si des mesures ne sont prises.

1.1 Techniques de conservation des eaux et du sol

1.1.1. Technique du « zaï »

La technique du « zaï » : c'est une technique traditionnelle de récupération des terres dégradées qui consiste à préparer le sol très tôt pendant la saison sèche en creusant tous les 70 à 100 cm des cuvettes de 20 à 40 cm de diamètre et de 10 à 20 cm de profondeur. La technique est utilisée par plus de 80 p.c. des agriculteurs de la zone aride du Burkina Faso (Kambou, 1996 ; Sawadogo et *al.*, 2008) ;

1.1.2. Paillage ou « mulching »

Il consiste à déposer des tiges ou des feuilles sur les endroits dénudés. Le paillage permet de créer une plage de fertilité des sols et d'avoir un bon développement des cultures (Sawadogo et Zeidler, 1989) ;

1.1.3. Cordons pierreux

Cette technique consiste à aligner des pierres suivant des courbes de niveau. Elle vise à ralentir le ruissellement de l'eau et à piéger les éléments solides (Kambou, 1996) . Les cordons pierreux peuvent avoir des hauteurs de 30 à 60 cm avec une largeur à la base comprise entre 0,10 et 0,40 cm ;

1.1.4. Bandes végétatives

Elles permettent de créer et d'entretenir des bandes de végétation assez dense en vue de freiner les eaux de ruissellement. Cette technique est très répandue dans la zone ouest et sud-ouest du Burkina Faso (Anonyme, 2005 ; Somé, 2007) ;

1.1.5. « Demi-lunes »

C'est une technique de préparation des sols pour la conservation de l'eau et du sol. Elle consiste à creuser des trous en arc de cercle ouverts en amont pour collecter les eaux de ruissellement. Cette technique est pratiquée dans l'extrême nord du Burkina (Kambou, 1996) ;

1.2 Fertilisation

1.2.1. Amendements organiques

La matière organique fournit un approvisionnement équilibré en éléments nutritifs et aide à maintenir et améliorer l'état physique et biologique du sol. Des dispositifs d'essais pérennes ont été mis en place à la Station de Farako-Bâ et de Saria pour le suivi de la fertilité des sols (Sédogo, 1981 ; Sédogo, 1993). Les études ont montré entre autres, un effet bénéfique de la matière organique sur la fertilité et la texture des sols et que la pratique de la culture continue de sorgho sans adjonction de matière organique et/ou minérale, entraîne inéluctablement après quelques années, une baisse sensible de la production agricole due à l'acidification des sols ;

1.2.2. Utilisation du phosphate naturel

L'accent a surtout été mis sur le burkina phosphate et les travaux ont permis de définir des formules de fumure économiquement rentables pour les céréales en fonction des zones agroécologiques (Lompo, 1993 ; Compaoré, 2001a) ;

1.3 Agroforesterie

Les études ont porté sur :

1.3.1. Cultures en couloir

Plantation d'espèces ligneuses à croissance rapide (*Ziziphus mauritiana*, *Albizzia lebbbeck*, *Leucena leucocephala*) ;

1.3.2. Associations arbres-cultures annuelles

Etude de l'influence de certaines espèces forestières (*Vitellaria paradoxa*, *Acacia albida*, *Parkia biglobosa*) sur le mil, le sorgho et le maïs (Anonyme, 2005) ;

1.3.3. Végétalisation des diguettes

Introduction d'espèces forestières pour la fixation des diguettes anti-érosives (Hien, 1996) ;

1.4. Travail du sol

L'étude sur le travail du sol a concerné le labour à plat, le buttage, les billons cloisonnés. Toutes ces techniques ont permis d'augmenter les rendements des cultures (Nicou et *al.*, 1990 ; Ouattara, 1994 ; Compaoré et *al.*, 2001b ; Barro et *al.*, 2005)

1.5. Association agriculture élevage

Des recherches ont été menées en vue de l'intensification de l'intégration agriculture élevage pour une gestion durable des ressources naturelles dans les régions du Sahel, de l'est et du centre-ouest du Burkina Faso (Anonyme, 2005).

Conclusion

Pour satisfaire l'autosuffisance alimentaire des générations actuelles et futures, une bonne gestion de la fertilité des sols s'impose. La meilleure démarche est celle qui intègre différentes techniques de conservation des eaux et des sols.

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES MICROORGANISMES

Introduction

Du point de vue historique, on note que c'est à partir de la première moitié du 17^{ème} siècle qu'on a commencé à mieux connaître les microorganismes et que Antoni Van Leewunhoek (1632-1723), naturaliste néerlandais, a été le premier à les observer au microscope.

La domestication de ces organismes n'a pas été facile du fait de leurs tailles microscopiques, ce qui explique que c'est seulement au cours du siècle dernier que leurs études et les différentes applications ont été véritablement abordées.

Louis Pasteur, chimiste et biologiste français (1822-1895), a montré que les microorganismes ne sont pas les produits d'une génération spontanée, mais sont plutôt issus d'autres microorganismes. Dès qu'il a été décrit les critères et les techniques d'identification des microbes, les recherches se sont alors développées et se sont poursuivies dans de nombreux domaines, montrant leurs énormes potentialités.

On distingue deux groupes de microorganismes : ceux qui sont utiles aux autres êtres vivants et ceux qui constituent pour eux un danger permanent.

Le caractère nocif des microorganismes a été montré bien longtemps après qu'ils aient été observés et décrits. Dans la deuxième moitié du 19^{ème} siècle, Robert Koch (1843-1910), célèbre par ses recherches sur le microbe de la tuberculose, médecin allemand (prix nobel de la paix 1905) et ses collaborateurs ont révélé que les maladies comme le choléra, la fièvre typhoïde, la tuberculose, la rougeole, la variole, sont causées par des microorganismes pathogènes.

Les microorganismes revêtent une importance capitale dans les domaines comme :

- 1) l'industrie alimentaire : nombreux produits de consommation élaborés grâce aux microorganismes. C'est le cas des yaourts, des fromages et autres produits laitiers ;
- 2) l'énergie : gaz naturel exclusivement produit par l'activité des germes. Ils interviennent surtout dans les processus de décontamination des sites pollués par les hydrocarbures ;
- 3) l'agriculture : rôle clé des microorganismes dans les transformations de la matière organique. Les différentes activités des groupes de microorganismes du sol assurent la mise à disposition de composés minéraux facilement assimilables par la plante et nécessaires pour son développement. Au nombre de ces microorganismes on peut citer les cellulolytiques, les ammonifiants, les nitrifiants, les amylolytiques, les bactéries fixatrices d'azote, etc..

Dans la présente étude nous nous sommes intéressés aux microorganismes en tant qu'agents utiles pour l'homme et la plante. L'étude est consacrée aux microorganismes telluriques, composante essentielle de l'association Sol-Végétation-Communauté Microbienne.

La communauté scientifique internationale reconnaît aux microorganismes leur rôle prépondérant dans l'agriculture, la pêche et la foresterie. En effet, il est établi depuis longtemps que ces êtres microscopiques transforment les composés organiques en produits facilement utilisables par la plante (Goodding et McCalla, 1945). Ils sont responsables de 80 à 90 p.c. des transformations des produits et substances d'origines diverses (Grobler et *al.*, 1987) et interviennent sous des formes très variées, dans les grands cycles biologiques de la nature : cycles du carbone, de l'azote, du soufre, du phosphore, etc.... Les transformations de nature

microbienne des éléments minéraux dans le sol représentent une part très importante par rapport à celles non microbiennes, jouant ainsi un rôle de premier ordre.

L'utilisation des microorganismes dans l'agriculture est une alternative, surtout pour les pays en développement qui n'arrivent plus à produire les aliments en quantité et en qualité pour satisfaire les besoins de leurs populations.

Les données estimatives se rapportant à la fixation de l'azote permettent d'avoir une idée sur la contribution des microorganismes dans l'agriculture. Ainsi, d'après Hardy et Holstein cités par Ayanaba (1978), en 1973 la quantité d'azote fixée par les légumineuses était estimée à 182,5 millions de tonnes, ce qui représente 5 fois la quantité d'engrais chimiques consommés dans la même année. Une partie de l'azote fixé reste au sol, soit 10 et 20 p.c. respectivement, pour les légumineuses tempérées et les légumineuses tropicales.

Les données sur la fixation d'azote indiquent qu'on peut produire en réduisant considérablement les apports d'engrais azotés, ce qui aurait dû soulager beaucoup de nations à faibles revenus. C'est pour toutes ces raisons qu'au plan africain, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) a proposé lors de la réunion du comité sur la microbiologie tenue en 1974 à Nairobi (Kenya), la création de Centres de Ressources Microbiologiques (MIRCEN). L'un des rôles dévolus aux MIRCEN était de fournir une infrastructure mondiale pour la gestion, la distribution et l'utilisation des microorganismes d'intérêt agronomique pour produire plus et à moindre coût. Malheureusement les résultats obtenus n'ont pas été à la hauteur des attentes.

L'engouement suscité dans les années 1980, par la mise à contribution des microorganismes pour augmenter la production végétale s'est vite émoussé au profit des engrais chimiques dont les demandes, de façon générale, ne cessent d'augmenter. Au niveau des pays en développement, la consommation d'engrais chimiques a quadruplé pendant les périodes 1969-1971 et 1988-1990 et à

l'horizon 2010 la consommation sera multipliée par 10 (tableau I). On constate malheureusement que dans certains pays, les rendements des cultures demeurent faibles malgré les apports croissants d'engrais. Cet état de fait serait dû à des causes diverses : calendriers et méthodes d'application non conformes, déséquilibre entre les principaux éléments fertilisants, toxicité des sols provoquée par la salinité, alcalinité, forte acidité, etc. C'est dire que l'apport d'engrais ne permet pas de résoudre tous les problèmes.

Tableau I- Consommation totale d'engrais dans les pays en développement
(Chine non comprise)

	Consommation (millions de tonnes)			
	1969-71	1979-81	1988-90	2010
Pays en développement	9.3	22.6	36.8	79.8
Afrique sub-saharienne	0.4	0.9	1.2	3.3
Proche-Orient	1.3	3.5	5.6	13.1
Asie de l'Est	1.9	4.1	7.0	13.8
Asie du Sud	2.9	7.3	14.7	32.8
Amérique latine/Caraïbes	2.8	6.8	8.2	16.9

Source : (FAO, 1995)

Si l'utilisation des engrais minéraux permet à court terme de satisfaire les besoins des populations, dans le long terme, les risques paraissent énormes, compte tenu des conséquences de ces produits sur l'environnement. L'expérience indique qu'à long terme, les apports d'engrais minéraux doivent être complétés par des matières organiques.

Au plan de la lutte contre la pollution, les microorganismes ont connu un regain d'intérêt ces dernières années : élimination des composés carbonés aromatiques polycycliques et réduction de la toxicité due aux métaux lourds

(Baud-Grasset et *al.*, 1993 ; Kotterman et *al.*, 1998 ; Roslev et *al.*, 1998 ; Baldrian et *al.*, 2000).

Les organismes du genre rhizobium responsables de la fixation symbiotique d'azote et ceux intervenant dans l'utilisation du phosphore, en l'occurrence les mycorhizes et les bactéries solubilisant les phosphates, ont fait l'objet de nombreuses études. Il en est de même pour les bactéries intervenant dans la minéralisation de l'azote et du carbone, à savoir les bactéries ammonifiantes, nitrifiantes et amylolytiques. Le rôle et la place de ces espèces dans les cycles biologiques sont décrits dans les paragraphes suivants.

2-1- Fixation d'azote : les *Rhizobium*

Les *Rhizobium* sont des bactéries vivant en symbiose avec la plante hôte et responsables de la fixation de l'azote moléculaire. Dans la symbiose, les rhizobium apportent à la plante l'azote et reçoivent d'elle les substances carbonées dont ils ont besoin pour leur croissance. Le phénomène de la fixation biologique de l'azote de l'air et son importance pour l'agriculture est connu depuis les temps immémoriaux. C'est ainsi que dans la plus haute antiquité l'homme utilisait les légumineuses comme engrais vert. C'est Hellriegel et Wilfarth qui en 1888, ont montré que les gains d'azote chez le pois ne se produisaient qu'en présence des microorganismes du sol et que les nodules des racines étaient nécessaires. Au cours de la même année, Beijerinck isola des bactéries fixatrices à partir des nodules. Ces bactéries sont maintenant appelées Rhizobium.

Les études sur la fixation de l'azote de l'air n'ont véritablement commencé qu'au siècle dernier et se sont intensifiées au cours de ces trois dernières décennies. Les rhizobium favorisent la fixation de l'azote de l'air en le réduisant en azote assimilable par la légumineuse (Danso, 1991). La fixation de l'azote a lieu dans des nodules qui sont des protubérances qu'on observe au niveau des racines (figure 1). Leurs tailles et leurs formes varient selon la plante hôte.

On distingue aussi des nodules caulinaires chez des espèces comme *Aeschynomene afraspera* (figure 1) et *Sesbania rostrata*.

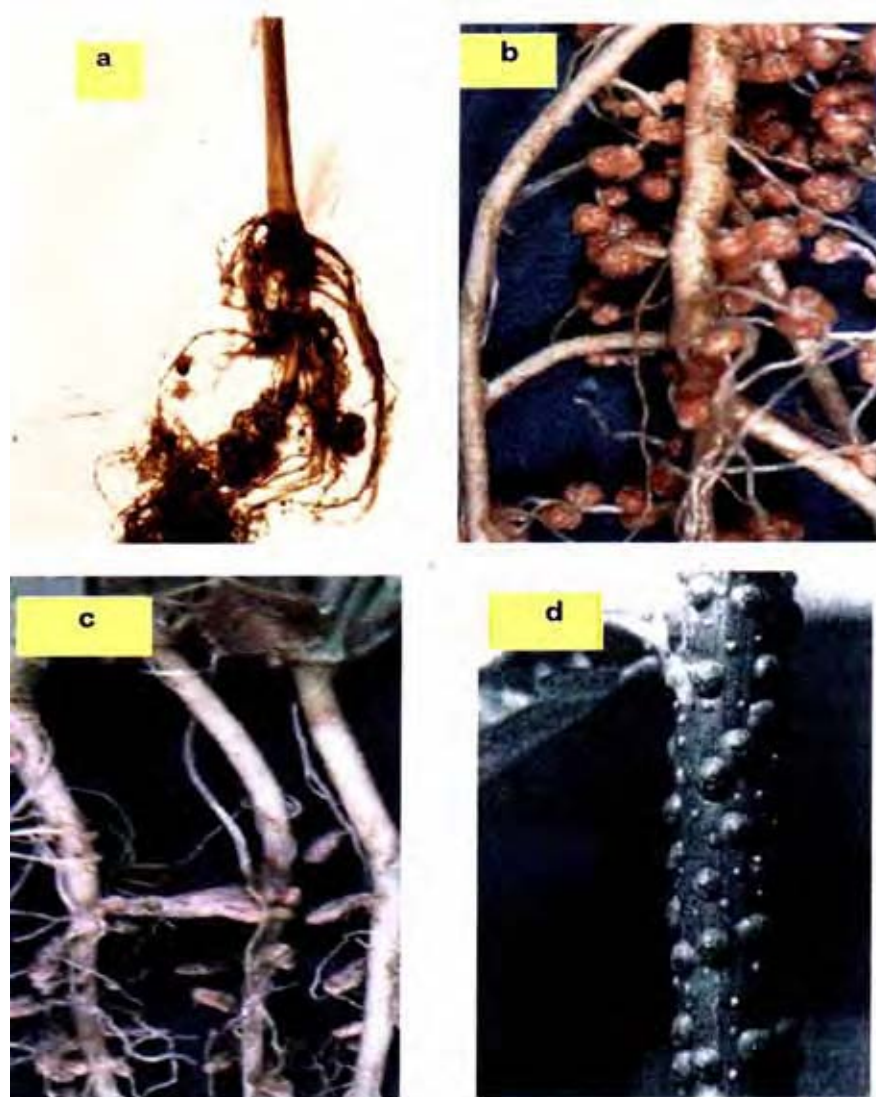
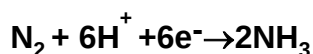


Figure 1- Nodules de quelques espèces végétales

- a) Racines montrant des nodules chez *Vigna unguiculata*
- b) Photographie de racines montrant des nodules chez *Trifolium repens* **Source :** (FAO, 1984)
- c) Racines montrant des nodules chez *Lotus corniculatus* **Source :** (FAO, 1984)
- d) Racines montrant des nodules caulinaires chez *Aeschynomene afraspera* **Source :** (Becker et al., 1990)

La transformation de l'azote se fait grâce à la nitrogénase (enzyme clé) qui, en présence d'ATP, réduit la molécule N₂ en ammoniac selon la réaction (Danso, 1991):



Les *Rhizobium* sont des bactéries "Gram-négatif" appartenant à la famille des Rhizobiacées. On les trouve sous deux formes : 1) la forme végétative qui présente l'aspect de bâtonnets réguliers de 0,6 à 0,8μ de large sur 1 à 10μ de long ; 2) la forme bactéroïde plus grande que la première.

L'influence des *Rhizobium* sur la fixation de l'azote est spécifique aux seules plantes légumineuses alimentaires (*Vigna unguiculata*, *Phaseolus*, *Hypogaea arachis*, *Glycine max*, *Voandzouea subteranea*, *Pisum sativum*), fourragères (*Stylosanthès*, *Trifolium*, *Acacia*, *Lotus*), celles à usage d'engrais verts (*Sesbania rostrata*, *Aeschynomene*) et certaines espèces d'arbres comme *Faidherbia albida*, *Albizia lebbek*.

Les emplois excessifs d'engrais minéraux ammoniacaux et de pesticides limitent la fixation d'azote par les légumineuses présentant les nodules au niveau des racines. Ils n'ont cependant aucune incidence chez les espèces à nodules caulinaires (Dreyfus et Dommergues, 1980).

2-2- Mobilisation du phosphore

2-2-1-Les Mycorhizes

- 1) Le terme Mycorhize provient du grec "Mykes" et "Rhiza", ce qui signifie littéralement "champignon-racine". C'est une association de type symbiotique obligatoire à caractère mutualiste.

2) Les mycorhizes apportent à la plante hôte les éléments nutritifs dont elle a besoin, et prélèvent les exsudats des racines de celle-ci, en l'occurrence les acides aminés, pour leur propre développement.

Selon la nature du champignon associé on distingue deux types de mycorhizes:

- les ectomycorhizes dont le mycélium prolifère à la surface des racines et forme un manteau périphérique ;
- les endomycorhizes dont le mycélium pénètre dans les cellules des racines de la plante-hôte. Ces dernières présentent une formation caractéristique formée de structures que sont les vésicules et les arbuscules (figure 2).

Les endomycorhizes à vésicules et arbuscules ont retenu notre attention dans cette étude en raison du rôle capital qu'elles jouent dans l'utilisation du phosphore du sol par la plante hôte. Elles constituent le type le plus répandu et sont présentes sur au moins 85 p. c. des espèces végétales.

Les différentes espèces d'endomycorhizes à vésicules et arbuscules sont réparties dans six genres : *Acaulasporea*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Sclerocystis*, *Scutellispora* et *Enterospora*.

Les premières indications sur le rôle des Mycorhizes à vésicules et arbuscules dans la stimulation de la croissance des plantes, ont été données en 1943 (Asai, cité par Gianinazzi-Pearson, 1976). Puis de nombreux travaux ont confirmé et précisé cette assertion. En 1959, Baylis a suggéré que cette stimulation de la croissance des plantes serait due chez les plantes mycorhizées, à une absorption plus accrue d'éléments minéraux, en particulier le phosphore.

Dès lors, les résultats obtenus, tant sur les espèces végétales annuelles que pérennes, ont suscité un vif intérêt pour l'utilisation de ce symbiote comme alternative à l'emploi des engrais phosphatés.

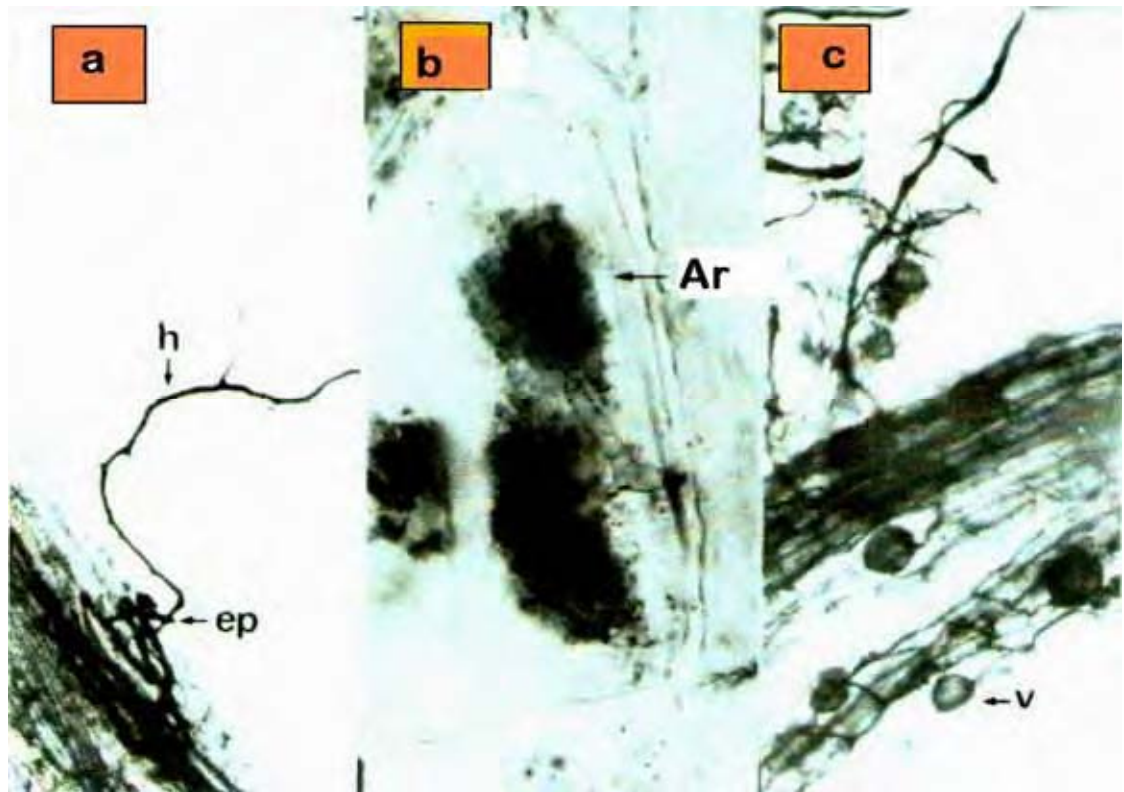


Figure 2- Structures caractéristiques des mycorhizes à vésicules et arbuscules

- a) Microscopie optique de racines mycorhizées d'oignon montrant un point de pénétration (ep) de l'hyphe (h) du champignon dans la racine **Source** : (Gianinazzi-Pearson et Gianinazzi, 1981).
- b) Microscopie optique de racines mycorhizées d'oignon montrant un arbuscule (Ar) **Source** : (Gianinazzi-Pearson et Gianinazzi, 1981).
- c) Microscopie optique de racines mycorhizées d'oignon montrant des vésicules (v) **Source** : (Gianinazzi-Pearson et Gianinazzi, 1981).

Les principales conclusions de l'étude que nous avons réalisée dans le cadre de notre thèse de doctorat troisième cycle intitulé : "Interaction des Endomycorhizes VA, le Rhizobium et le Phosphore du sol chez le soja" (Asimi, 1979) ont montré que sans adjonction de phosphore :

- 1) la fixation d'azote des plantes mycorhizées de soja est 2,4 à 2,8 fois plus élevée que celle des témoins non mycorhizées ;
- 3) l'infection endomycorhizienne entraîne une importante stimulation de la croissance des plantes. Cette stimulation, qui commence après huit semaines environ de culture, se traduit par un accroissement de près de 150 et 200 p.c. respectivement de la masse totale et des nodules des plantes ;
- 4) la teneur en N et P (exprimée en mg/plante) des plantes mycorhizées est deux fois plus élevée que celle des témoins non mycorhizées ;
- 5) un rendement significativement plus élevé des plantes mycorhizées avec apport de phosphate tricalcique comparativement au témoin non mycorhizé.

L'incidence positive observée chez le soja est la même que celle décrite par de nombreux auteurs qui ont montré des accroissements importants des rendements dus aux mycorhizes chez diverses espèces de plantes. Ces accroissements résulteraient d'une meilleure absorption du phosphore (Asimi, 1979 ; Charron, 1990 ; McGonigle et Miller, 1993 ; Solaiman et Hirata, 1996 ; Munro et *al.*, 1999 ; Arihara et Karasawa, 2000 ; Arihara et *al.*, 2000 ; Karasawa et *al.*, 2000a, 2000b ; Lesueur et *al.*, 2001).

S'il a été montré que les mycorhizes améliorent la mobilisation du phosphore par les plantes, il a été aussi bien établi qu'elles ne solubilisent pas les formes organiques de phosphore du sol mais augmentent considérablement l'utilisation de ceux qui sont déjà disponibles (Asimi, 1979 ; Plenchette, 1982).

Outre l'absorption du phosphore, l'infection endomycorhizienne permet d'améliorer différents autres processus physiologiques dont :

- la nutrition azotée : les endomycorhizes ne semblent pas pouvoir utiliser l'azote organique sous forme complexe, mais elles interviendraient dans l'absorption des composés azotés solubles présents dans les sols ;
- la résistance à la sécheresse : il a été montré que les plantes mycorhizées soumises à des périodes de sécheresse se développent mieux que celles non mycorhizées (Ruiz-Lozano et *al.*, 1995). La régulation de l'alimentation en eau chez les plantes mycorhizées, serait probablement due à une modification hormonale ;
- la protection contre les attaques des agents pathogènes : l'infection mycorhizienne réduit souvent la susceptibilité des plantes aux attaques des agents pathogènes comme *Fusarium*, *Phytophthora* . Il a été proposé comme moyens de protection des modifications au niveau de la lignification des tissus, du métabolisme en acides aminés et de la production de l'éthylène (Schönbeck, 1979) ;
- la fixation biologique de l'azote : les endomycorhizes stimulent la fixation d'azote et le développement chez les légumineuses. La mycorhization entraînerait une meilleure nutrition phosphatée des plantes, ce qui aurait pour conséquence une stimulation de la production des nodules et la fixation d'azote (Asimi et *al.*, 1978 , 1980 ; Asimi, 1979 ; Ganry et *al.*, 1985 ; Dianou et Bâ, 1999 ; Lesueur et *al.*, 2001).

2-2-2- Rhizobactéries solubilisant le phosphate

Indépendamment des endomycorhizes qui interviennent dans la mobilisation du phosphore, les sols agricoles regorgent de nombreuses autres bactéries solubilisant le phosphate. De nombreux auteurs associent la solubilisation des phosphates à une baisse du pH du milieu (Hedley et *al.*, 1990). Cette baisse du

pH du sol serait consécutive à la production, par certaines bactéries, d'acide sulfurique par oxydation du soufre élémentaire présent dans le sol (Germida et Jansen, 1993).

Les résultats de nombreux travaux réalisés en serres et aux champs, ont montré une forte augmentation de la production des plantes inoculées avec les microorganismes solubilisant le phosphore. Ainsi, Kucey et *al.* (1989) ont réussi à augmenter de façon significative le rendement et l'absorption du phosphore du blé en l'inoculant avec *Penicillium bilaji*. De même, Domey et Lippman (1989) ont obtenu un accroissement du rendement de 8 p. c. en inoculant le blé cultivé en serre et 17 à 57 p. c. pour l'assimilation du phosphore. Des essais d'inoculation avec *Enterobacter* réalisés aux champs ont entraîné, après 108 jours de culture, une augmentation de la matière fraîche foliaire du maïs de 28 p. c. (Chabot et *al.*, 1996).

Au Burkina Faso les travaux réalisés sur le burkina phosphate ont montré une influence positive sur la croissance du niébé (Dianou et Bâ, 1999) et du maïs (Asimi et Kambou, 2000). Au Mali des résultats similaires ont été obtenus sur le blé et le maïs (Babana et Antoun, 2005 ; 2006).

2-3-Microorganismes minéralisant le carbone et l'azote dans le sol

2-3-1-Minéralisation de l'azote

Les microorganismes qui interviennent dans les différents cycles biologiques (cycles de l'azote, du carbone, du soufre, du phosphore, etc.) sont très nombreux. Ils régulent les gains et les pertes de ces différents éléments minéraux à travers divers processus microbiologiques plus ou moins complexes (Dommergues et Mangenot, 1970).

Le processus de minéralisation de l'azote régule les gains et les pertes en azote du sol ainsi que sa teneur en formes assimilables par les plantes. (Burell et

al., 1998 ; Prinčič et *al.*, 1998 ; Phillips et *al.*, 2000). D'après Smith (1985), cité par Grobler et *al.* (1987), l'assimilation de N, P et K par les plantes se fait presque exclusivement grâce à l'activité minéralisatrice des microorganismes du sol. Tout blocage de ce processus entraîne de graves problèmes de pollution de l'environnement (Burell et *al.*, 1998 ; Phillips et *al.*, 2000).

De nombreux travaux ont montré que certains facteurs environnementaux modifient l'activité, la densité et la nature de la microflore tellurique. Ils peuvent stimuler considérablement (température, pH, matière organique) ou ralentir (très forte acidité, fertilisation à base d'engrais minéraux) le processus de minéralisation des composés azotés et carbonés dans les sols (McGonigle et Miller, 1993 ; Fauci et Dick, 1994 ; Prinčič et *al.*, 1998 ; Bruns et *al.*, 1999 ; Ezawa et *al.*, 2000 ; Phillips et *al.*, 2000 ; Peacock, 2000). Philips et *al.* (2000) ont montré qu'une meilleure connaissance des effets des pratiques culturales sur la structure et la dynamique des communautés bactériennes, en l'occurrence les bactéries oxydant l'ammoniac, permet de limiter les pertes en intrants.

La minéralisation de l'azote organique en azote minéral passe par l'ammonification et la nitrification.

2.3.1.1. Germes ammonifiants

L'ammonification est le fait d'un nombre considérable de microorganismes qui interviennent à un point ou à un autre des chaînes de dégradation et dans des conditions écologiques extrêmement variables.

C'est donc un processus peu spécifique pour lequel les espèces de germes les plus connus sont du genre: *Achromobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Clostridium*.

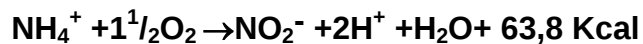
Les bactéries ammonifiantes sont très abondantes dans les sols et il a été établi que l'ammonification apparaît dans tous les sols, dès l'instant où l'on se trouve dans les limites compatibles avec la vie (Dommergues et Mangenot, 1970). Dans le sol, le devenir de l'azote ammoniacal est divers : il peut être soit

transformé en nitrate par les germes nitrifiants, soit immobilisé par la microflore, soit réabsorbé par les plantes supérieures, soit fixé sous forme très stable sur la matière organique du sol (processus désigné par le terme "réversion non biologique").

2.3.1.2. Germes nitrifiants

La nitrification, c'est l'oxydation de l'azote ammoniacal. On distingue deux types de nitrification: une autotrophe et une hétérotrophe. Elles se font selon les réactions décrites par Poth (1986) et Muller et *al.* (1995) :

- la nitrification autotrophe est le fait de microorganismes comme les *Nitrobacter*, les *Nitrosomonas*. Les *Nitrosomonas* oxydent l'ammonium, avec libération d'azote nitreux selon la réaction de nitrosation ou de nitritation suivante:



Le groupe des *Nitrobacter* oxyde par la suite l'azote nitreux en azote nitrique (nitrification) qui se fait en trois étapes donnant la réaction globale d'oxydation ci-dessous :



- la nitrification hétérotrophe est le fait de bactéries du genre *Pseudomonas*, *Bacillus*, ou de champignons comme *Aspergillus* et *Penicillium*.

L'azote nitrique produit peut être soit absorbé par les plantes supérieures, soit immobilisé par la microflore (l'immobilisation sera d'autant plus importante que le rapport C/N de la matière organique est élevé), soit perdu par lessivage ou par dénitrification.

Les germes autotrophes sont indépendants de tout apport de carbone organique tandis que les hétérotrophes en sont intimement liés.

Dans la plupart des sols, les densités des bactéries nitrifiantes autotrophes sont faibles, seulement de l'ordre de 10^2 à 10^3 par gramme de sol (Dommergues et Mangenot, 1970).

Au nombre des espèces nitrifiantes les plus connues, on peut citer celles du genre : *Bacillus*, *Clostridium*, et *Pseudomonas*.

2.3.2. Minéralisation du carbone

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

Les organismes responsables de la dégradation de la matière organique sont très divers : ce sont des bactéries y compris des Actinomycètes, champignons filamenteux, Myxomycètes et Protozoaires.

Les germes amylolytiques, auxquels nous nous sommes intéressés dans cette étude, comptent parmi les germes responsables de la minéralisation des substrats carbonés. Ils hydrolysent l'amylose (l'un des constituants de l'amidon) composée de longues chaînes d'unités simples de glucose reliées entre elles par des liaisons α - (1,4). L'enzyme responsable de cette hydrolyse est l'amylase qui est produite par de nombreux microorganismes, qu'il s'agisse de bactéries Gram⁺ ou Gram⁻, de champignons ou d'Actinomycètes (Sharp et MacFarlane, 2000).

Conclusion

Compte tenu du rôle primordial que les microorganismes jouent dans le maintien de la fertilité des sols, une attention particulière doit leur être accordée. On doit œuvrer pour leur préservation dans le sol en évitant toutes les pratiques susceptibles de nuire à leur santé (fongicides, insecticides, doses élevées d'engrais minéraux).

CHAPITRE III : ROLE ET APPLICATIONS DES MICROORGANISMES DANS L'AGRICULTURE

Introduction

L'homme, avant même d'avoir connu les microorganismes, avait appris à les utiliser pour ses propres besoins. C'est ainsi que la fermentation alcoolique a été utilisée dans la production du vin, du pain et de bien d'autres produits alimentaires. Dans le domaine agricole de nombreuses applications ont été réalisées et ont permis d'accroître la production des plantes.

3.1. Inoculation des légumineuses par les Rhizobium

Suite au développement des techniques de production d'inoculums mises au point par Fred et *al.* (1932), de nombreux essais d'inoculation furent réalisés à travers le monde. Les résultats de ces essais vont du seuil de non significatif à hautement significatif en fonction de l'espèce de légumineuse et de l'environnement (figure 3).

Les données estimatives de la fixation d'azote chez quelques espèces (tableau II), montrent des écarts importants d'une espèce à l'autre (Ayanaba, 1978).

Tableau II- Données estimatives des quantités d'azote fixées par quelques espèces (d'après Ayanaba, 1978).

Espèce	Site	N fixé kg/ha/an
<i>Vigna unguiculata</i>	Divers	64 à 240
<i>Glycine max</i> (soja)	USA	68 à 118
<i>Stylosanthes sp.</i>	Australie	197
<i>Pueraria sp.</i>	Nigéria	62

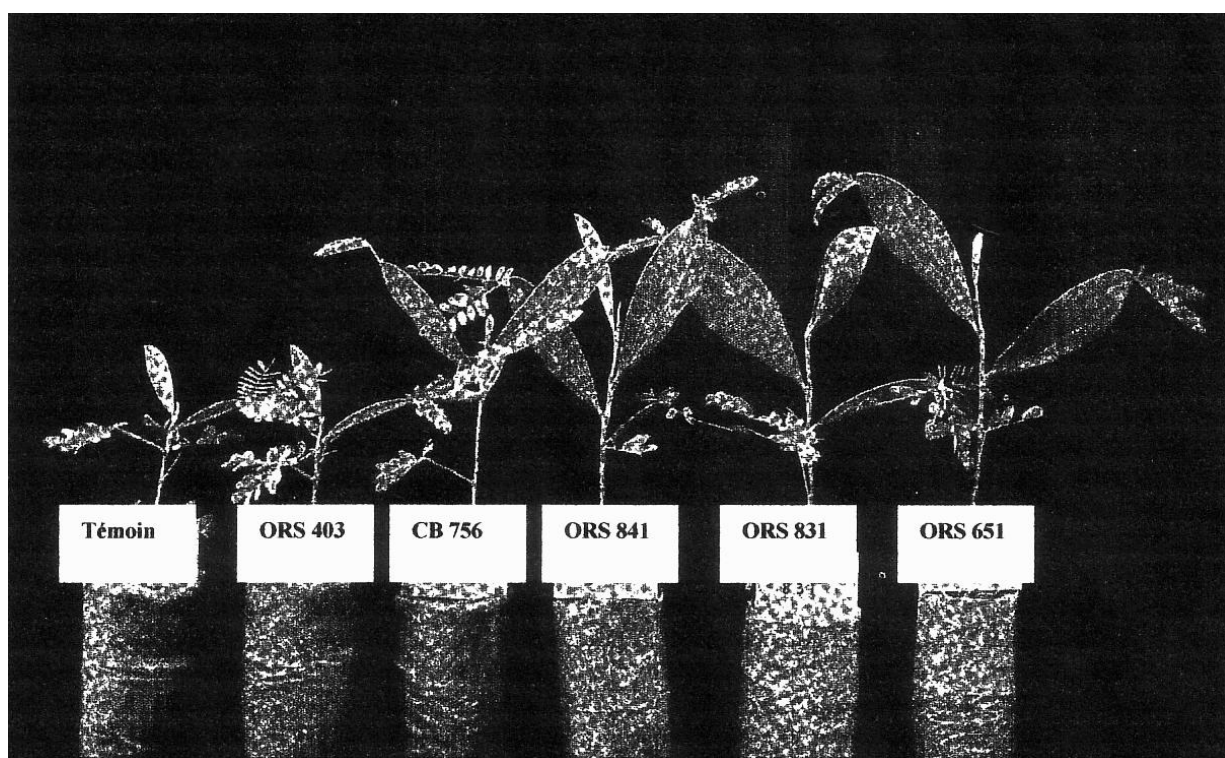


Figure 3 - Effet bénéfique de l'inoculation des souches de *Rhizobium* efficaces sur la croissance d'*Acacia holosericea* cultivé sur un sol pauvre en azote (Cornet et Diem, 1982)

En Afrique, et particulièrement dans la région des Grands Lacs où près de 1/3 des terres arables est consacré aux légumineuses (haricot, soja, pois, leucaena), l'inoculation a permis d'augmenter significativement les rendements.

Des cultures de soja en plein champ ont montré des augmentations de rendements de 40 à 60 p.c. au Rwanda (Scaglia, 1991) et de 30 à 100 p. c. au Burundi (Moudiongui et *al.*, 1991).

Au Rwanda, les agriculteurs n'utilisent l'inoculum que pour le soja (90 p.c.) et le pois (10 p.c.). Des résultats similaires ont été également obtenus sur le soja au Burkina Faso (Picasso et *al.*, 1984).

L'emploi des légumineuses à usages d'engrais verts, comme *Sesbania sesban*, *Mucuna pruriens*, *Stylosanthes hamata* et *Stylosanthes guianensis* connaît de plus en plus un regain d'intérêt en Afrique. Leur usage dans les jachères améliorées permet, à la fois, d'augmenter la production des cultures céréalières et d'améliorer la fertilité des sols (Kwesiga et *al.*, 1999 ; Mafongoya et Dzowela, 1999 ; Phiri et Kanyama-Phiri, 1999).

L'application des rhizobium présente des limites. En effet, l'inoculation du soja en Afrique donne des résultats intéressants, tandis que celle d'autres légumineuses comme l'arachide (*Hypogaea arachis*), le niébé (*Vigna unguiculata*), le voandzou (*Voandzea subterenea*) n'ont pas produit le même effet que chez le soja.

Ces résultats s'expliquent par le fait que dans le cas du soja les sols africains sont dépourvus de *Rhizobium japonicum* (genre spécifique pour le soja) ; à l'inverse ils regorgent des rhizobium nodulant les autres espèces.

La réussite de l'inoculation des cultures dépend de plusieurs facteurs dont :

- 1) la disponibilité en azote des sols (Gibson et Harper, 1985 ; Somasegaran et Bohlool, 1990) ;
- 2) la présence des souches natives de rhizobium nodulant les espèces cultivées (Singleton et Tavares, 1986 ; Moawad et *al.*, 1988 ; Thiès et *al.*, 1991) ;
- 3) les propriétés physico-chimiques des sols (Aurag et Brhada, 1995).

Les techniques de production de l'inoculum sont bien maîtrisées. Le problème le plus important restant à résoudre, est d'élargir l'éventail des espèces végétales pouvant former des nodules et fixer l'azote de l'air. En effet, les *Rhizobium* sont des organismes spécifiques aux seules plantes légumineuses. Les tentatives du transfert du gène "nif" de la nitrogénase (enzyme responsable de la réduction de l'azote moléculaire), au patrimoine génétique d'autres espèces végétales n'ont toujours pas abouti. Avec le développement de la biotechnologie, il est permis d'espérer que ce transfert aboutisse à plus ou moins longue échéance.

3.2. Inoculation des cultures par les Endomycorhizes

A l'opposé des *Rhizobium* nodulant un éventail très réduit d'espèces végétales, les Endomycorhizes constituent vraisemblablement l'infection racinaire la plus répandue.

De nombreux essais d'inoculations réalisés sur différentes espèces végétales ont montré des augmentations significatives des rendements des plantes mycorhizées par rapport aux témoins non mycorhizés. La bibliographie existant sur les travaux d'inoculation est très abondante.

Quelques unes des espèces végétales ayant fait l'objet de tests d'inoculation réalisés par des auteurs en Afrique sont :

- 1) *Glycine max* (Asimi et al. 1978, 1980 ; Asimi, 1979) ;
- 2) *Vigna unguiculata* (Ngonkeu Mangaptche et Nwaga, 2004) ;
- 3) *Gliricidia sepium* (Osunde, 1992) ;
- 4) *Acacia albida* (Bâ et al., 1996) ;
- 5) *Ziziphus mauritiana* (Guissou et al., 1998) ;
- 6) *Zea mays* et *Sorghum bicolor* (Nwaga et al., 2004) ;
- 7) *Senna spectabilis* (Kung'u, 2004) ; etc.
- 8) *Crotalaria grahaminia* et *Tephrosia vogelii* (Kimiti and Smithson, 2004)

Les figures 4 et 5 montrent l'incidence des Mycorhizes chez *Glycine max.* et *Acacia raddiana*.

Le succès de l'inoculation des plantes par les Mycorhizes dépend de plusieurs facteurs :

- 1) La teneur en phosphore du sol : les fortes teneurs en phosphore du sol inhibent la mycorhization (Gianinazzi-Pearson, 1986 ; Ezawa et al., 2000) ;
- 2) Les traitements fongicides : les doses élevées de fongicides empêchent la mycorhization (Kough et al., 1987) ;
- 3) La structure du sol : les sols bien aérés et bien drainés sont favorables à la symbiose entre la plante et le champignon (Gianinazzi, 1982) ;
- 4) La présence de champignons indigènes : l'effet de l'inoculation est souvent annihilé par les champignons indigènes qui sont plus adaptés au milieu.

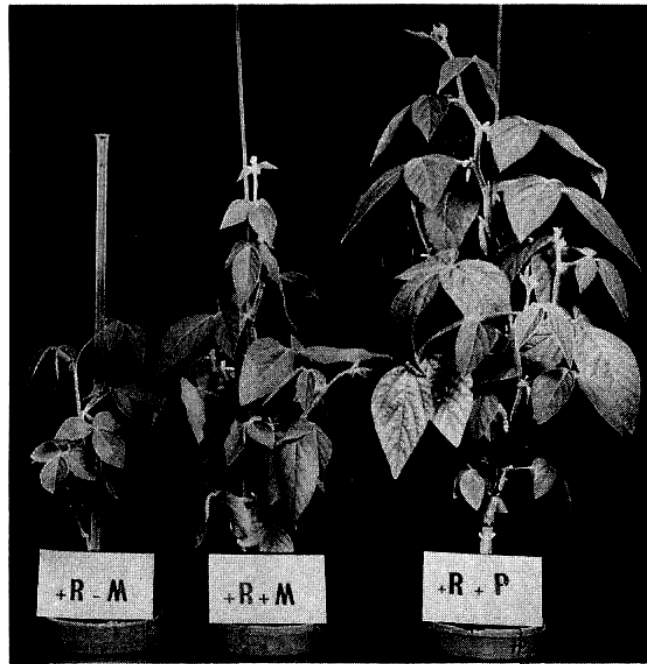


Figure 4 – Croissance des plants de *Glycine max* non mycorhizé (+R-M) , mycorhizé (+R+M) et avec apport de phosphore (R+P) **Source** : (Asimi et al., 1978)

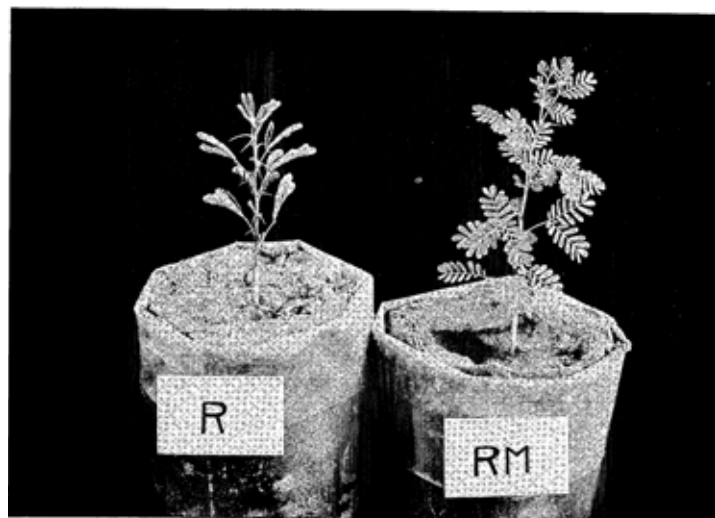


Figure 5 - Effet de l'inoculation avec *Rhizobium* (R) et avec *Rhizobium*+*Glomus mosseae* (RM) sur la croissance d'*Acacia raddiana* **Source** : (Cornet et Diem, 1982).

3.3. Perspectives de l'utilisation des Endomycorhizes

L'inoculation des plantes est déjà pratiquée en horticulture et en arboriculture où les champignons endomycorhiziens sont éliminés par la stérilisation des sols ou par l'emploi excessif de fongicides. Les entraves à l'inoculation des mycorhizes (VA) sont de deux ordres :

1. La présence de l'endophyte dans les sols : le fait que les champignons endomycorhizogènes soient présents dans presque tous les types de sols limite les réponses des plantes à l'inoculation et par voie de conséquence, l'intérêt de leur utilisation. Des travaux sont cependant entrepris en vue d'optimiser le potentiel de ces symbiotes (Ravolanirina et *al.*, 1989 ; Requena et *al.*, 2001) ;
2. La production d'inoculum : l'épineux problème qui s'est posé, depuis longtemps, pour produire l'inoculum en quantité et en qualité est qu'on ne disposait pas de méthodes de production végétative du champignon (Mosse, 1973 ; Gianinazzi-Pearson, 1982).

Les différentes tentatives pour cultiver le champignon sur milieu synthétique ont échoué (Strullu et Romand, 1987). Les Endogonacées sont des symbiotes obligatoires qui doivent être toujours associées à une plante hôte. La seule méthode utilisée consistait à cultiver le champignon en présence d'une plante-hôte et à découper finement les racines de la plante ; les fragments de racines obtenus sont mélangés au support de culture et servent d'inoculum (Asimi, 1979). De nombreux fabricants d'inoculum ont utilisé cette technique pour mettre au point une gamme variée de produits pour le jardinage, le laboratoire et les professionnels : c'est le cas en France de Biorize.

Au cours des vingt cinq dernières années on fait de plus appel au procédé de production *in vitro*, en condition monoxénique, de champignons mycorhiziens. Le procédé de production *in vitro* de champignons mycorhiziens consiste à produire des racines de dicotylédones transformées génétiquement puis à inoculer

lesdites racines par des spores de mycorhizes VA. Une fois l'inoculum obtenu, il peut alors être cultivé, ce qui n'était pas possible auparavant. Le support biologique mycorhizé obtenu peut être utilisé dans son ensemble comme inoculum pour réaliser des cultures permanentes et des inoculations en champ ou sous serres (Boudarga et Dexheimer, 1990 ; Strullu et *al.*, 1997 ; Diop, 2003). Des substances ont également été isolées et leur application permet de stimuler fortement la croissance du champignon (Mark et *al.*, 1999 ; Aikawa et *al.*, 2000)

3.4. Utilisation des bactéries cellulolytiques

Chaque année, plus de 100 milliards de tonnes de matières organiques sont produits dans le monde par les organismes photosynthétiques en fixant le gaz carbonique (Guedon et *al.*, 2000). Plus de la moitié de cette masse est constituée par la cellulose, dont la production s'accroît davantage au fil des années avec les résidus de l'agriculture, de l'industrie du papier et des ordures ménagères. Les microorganismes éliminent ces déchets en dégradant la cellulose en sucres solubles dont ils se nourrissent. Seulement, ils agissent à leur rythme et pour accélérer le processus de dégradation il est nécessaire de les stimuler. La stimulation se fait par inoculation de souches de bactéries efficaces.

Parallèlement à cette action d'assainissement de l'environnement, les bactéries cellulolytiques interviennent dans la production de biogaz et de biofertilisants :

✓ Au plan de la production de biogaz, nous pouvons citer les exemples du Burkina Faso et d'Amiens en France. La production de biogaz a été expérimentée au Burkina Faso depuis les années 1974. Les premiers résultats obtenus avaient suscité beaucoup d'engouement, seulement les coûts élevés des installations ont été un frein pour sa vulgarisation.

A Amiens en France, l'usine Valorga traite depuis 1987, plus de 55 000 tonnes de déchets chaque année. Le biogaz formé permet de produire une vapeur

de haute pression pour une consommation industrielle (puissance de 5 500 KW), (Guedon et *al.*, 2000).

✓ Au plan agricole, l'utilisation des microorganismes a permis de réduire le temps de compostage des résidus de récoltes. Des tests réalisés avec l'inoculum "Micro 110" produit aux Philippines, ont montré une diminution plus rapide de la teneur en carbone et du taux de matière sèche des composts inoculés (Ngamine, 1990).

Certains microorganismes commercialisés tels que *Trichoderma reesei*, *Aspergillus niger*, *Penicellium funiculosum*, *Rhizopus spp.*, permettent d'accélérer la dégradation de la cellulose.

Conclusion

Les résultats des tests d'inoculation des bactéries montrent que les microorganismes peuvent être mis à contribution pour accroître la production végétale et que cela est une alternative à l'emploi des engrais minéraux

DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES

**CHAPITRE IV : PRESENTATION DU CADRE DU TRAVAIL : CONTEXTE
GENERAL DU BURKINA FASO**

**CHAPITRE V : MILIEU D'ETUDE : LA STATION DE RECHERCHES
AGRICOLLES DE SARIA**

CHAPITRE VI : MATERIELS UTILISES

CHAPITRE VII : METHODES UTILISEES

CHAPITRE IV : PRESENTATION DU CADRE DE TRAVAIL: CONTEXTE GENERAL DU BURKINA FASO

Introduction

Le Burkina Faso est situé en Afrique de l'Ouest à en moyenne 1000 km des côtes maritimes. Il couvre une superficie de 274 000 km² et est caractérisé par trois types de climat : soudanien, soudano-sahélien et sahélien. Son économie est fortement tributaire du secteur agricole et pastoral qui représente 38 p.c. du produit intérieur brut.

4-1- Population

Selon le dernier Recensement Général de la Population de l'Habitation (RGPH) de décembre 2006, la population résidente du Burkina faso est estimée à 14 017 262 habitants dont 51,7% de femmes. Elle croit à un rythme de 3,1% en moyenne par an. Il a un taux d'alphabétisation de 21,8 p.c. et une espérance de vie moyenne estimée à 52 ans (Anonyme, 2003).

4-2- Organisation administrative

Le Burkina Faso est subdivisé en 13 régions administratives, 45 provinces et 351 communes (Kyendrébéogo, 2008).

Les principales villes sont

- Ouagadougou, la capitale :	1 475 223 habitants ;
- Bobo-Dioulasso :	489 967 habitants ;
- Koudougou :	88 184 habitants ;
- Banfora :	75 917 habitants ;
- Ouahigouya :	73 153 habitants ;

La figure n° 6 montre le découpage du pays en cinq régions : les régions Sahel, est, centre, ouest et nord-ouest suivant lesquelles le contexte général du Burkina Faso est présenté.

4-4- Contexte général par région

4-4-1- La région Sahel

La région Sahel est la plus sèche du pays. Elle couvre une superficie de 36 896 km², soit 13 p.c. du territoire national.

4.3.1.1. Climat

Sa pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 300 et 600 mm. Son réseau hydrographique est hivernal et peu dense. On note la présence de nombreuses mares temporaires.

Les températures sont globalement élevées, avec une moyenne annuelle de 28°C environ. Les températures maximales les plus élevées sont enregistrées entre les mois d'avril-mai (40 à 41°C) tandis que les minima se situent aux mois de décembre-janvier (11 à 13°C).

4.3.1.2. Sols

La région Sahel présente trois grands types de sols à savoir:

- les sols peu évolués d'érosion sur matériau gravillonnaire: ils occupent la plus grande partie de l'espace sahélien et se caractérisent par une faible profondeur et une faible teneur en matière organique;
- les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés et lessivés sur matériau sablo-argileux et argilo-sableux: ils présentent une texture sableuse en surface et sablo-argileuse en profondeur et sont pauvres en matière organique;

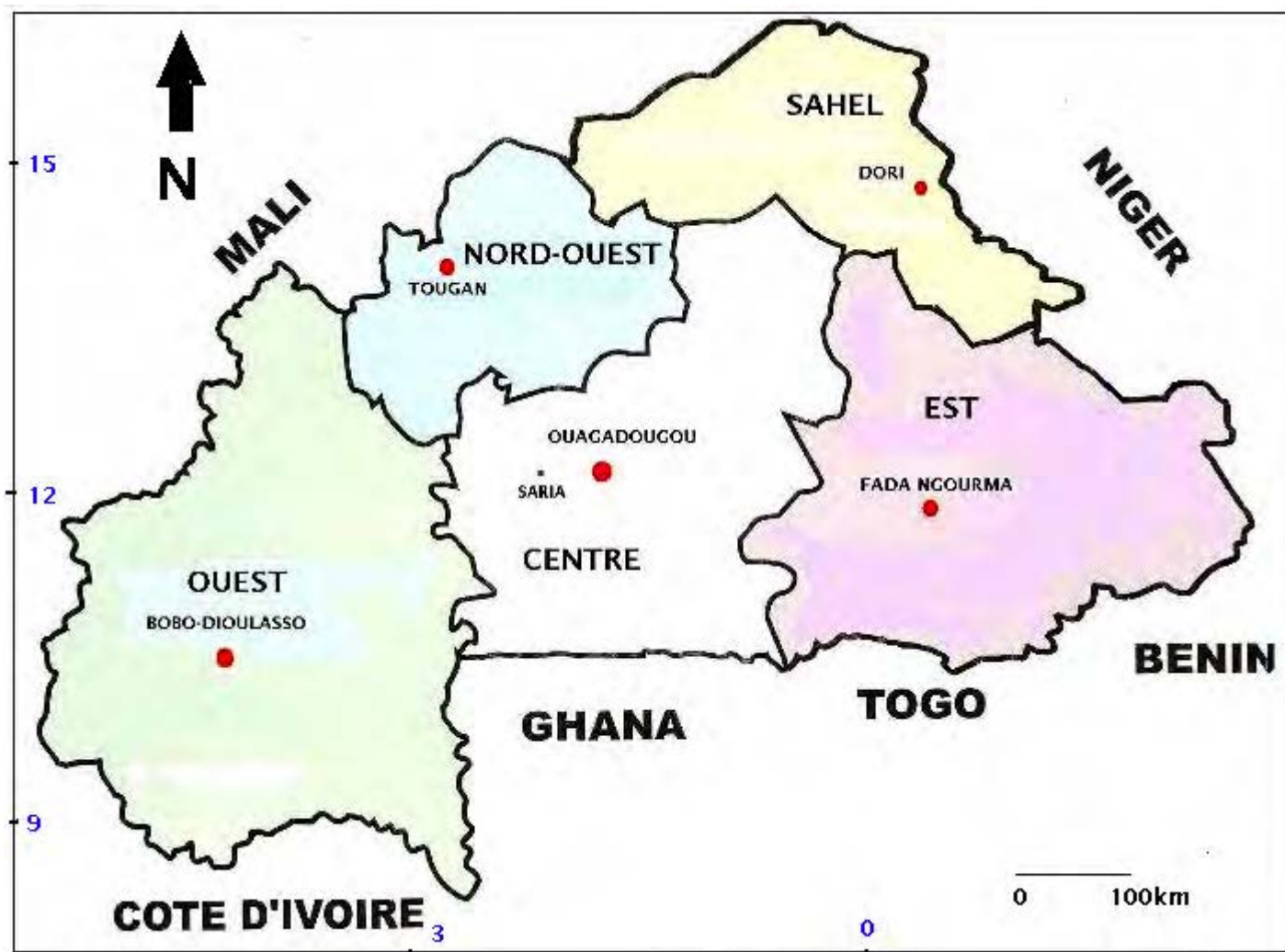


Figure 6– Le Burkina Faso : Découpage agro-écologique des régions **Source** : (CTIG/INERA, 1996)

- les sols bruns eutrophes tropicaux sur matériau argileux: ils se caractérisent par une forte teneur en argile gonflante avec un pouvoir d'infiltration limité ; ils sont chimiquement riches, mais difficiles à aménager.

4.3.1.3. Population et activités économiques

La population de la région Sahel est estimée à 969 881 habitants (Anonyme, 2006), soit 7,06 p.c. de la population totale.

Dans son ensemble et de par la nature de ses sols, la région nord est peu propice à l'agriculture pluviale.

L'élevage constitue l'activité principale et peut rapporter, en année moyenne, un peu plus de trois milliards de FCFA au Sahel. Par rapport à l'ensemble du pays, la région nord renferme environ 12,5 p.c. du cheptel bovin, 11,5 p.c. du cheptel ovin et 21 p.c. du cheptel caprin (Anonyme, 1994).

4.3.1.4. Végétation

On peut distinguer d'après les études réalisées par Guinko (1991), trois principales unités de végétation qui sont: les steppes, les formations ripicoles et les formations inondables.

4.3.5. La région est

Elle a une superficie de 60 660 km² soit 22 p.c. du territoire national.

4.3.2.1. Climat

La région est a un climat de type soudanien au Sud et sahélien au Nord. Elle est comprise dans les isohyètes 400 et 1200 mm.

Son réseau hydrographique relève essentiellement des trois grands bassins suivants: les affluents du fleuve Niger, de l'Oti et du Nakambé. La région est

dispose de deux importants aménagements hydro-agricoles situés à la Kompienga et à Bagré.

Les températures maximales peuvent atteindre 40°C, tandis que les minimales oscillent entre 15 et 20°C.

4.3.2.2. Sols

On y rencontre trois types de sols : les sols ferrugineux qui sont dominants, les sols hydromorphes et les sols à caractère vertique. C'est une région apte à l'agriculture avec comme principales spéculations le sorgho, le mil, le maïs, l'arachide, le niébé et le soja.

4.3.2.3. Population et activités économiques

La région est du Burkina compte 2 323 622 habitants (Anonyme, 2006), soit 16,92 p.c. de la population totale.

L'élevage est important dans la région est, où il se compose principalement de bovins (22,7 p.c. du cheptel bovin), de petits ruminants (22,3 p.c. du cheptel petits ruminants) et de volailles (2 800 000), (Anonyme, 1993).

4.3.2.4. Végétation

La végétation de la région comprend essentiellement une savane arborée claire. Dans l'ensemble, le tapis herbacé comporte des espèces annuelles dans la partie nord, tandis que la partie sud est de plus en plus dense avec une prédominance de graminées vivaces.

4.3.6. La région ouest

La Région ouest couvre une superficie de 52 000 km², soit 18,8 p.c. du territoire national.

4.3.3.1. Climat

La région ouest appartient à la zone la plus arrosée du pays avec une pluviométrie comprise entre 600 et 900 mm dans la partie nord et 900 à 1200 mm dans la partie sud.

La température moyenne est de 27°C, avec une amplitude thermique annuelle moyenne de 5°C et son minimum (18 à 20°C) en janvier-février. L'humidité relative moyenne est de 50 p.c., avec son maximum en octobre (80 p.c.).

4.3.3.2. Sols

Les sols de la région ouest sont principalement des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés et des sols hydromorphes et ferrallitiques.

L'Ouest du Burkina possède les points les plus élevés du pays. Il dispose d'un important réseau hydrographique dont les cours d'eau se rattachent à deux bassins: le bassin de la Volta et celui de la Comoé.

La stabilité relative de la pluviosité, l'amélioration de la technicité des producteurs et l'accroissement des superficies cultivées font de l'Ouest burkinabé une région prospère pour l'agriculture aussi bien traditionnelle que de rente.

4.3.3.3. Population et activités économiques

La population de la région ouest s'élève à 3 611 448 habitants (Anonyme, 2006) soit 26,30 p.c. de la population totale et se compose de trois grands groupes autochtones (Bobo, Sénoufo, Lobi-Dagara) auxquels se sont ajoutés des groupes allochtones venus récemment (Mossi, Peulhs).

Le développement du secteur élevage dans les systèmes de production a entraîné un changement fondamental dans l'agriculture. L'expansion de l'élevage a été rendue possible par le fait du développement de la culture cotonnière ainsi que l'immigration des pasteurs peulhs. Le cheptel de la région ouest se compose

essentiellement de bovins (25 p.c. du cheptel bovin), d'ovins (14,8 du cheptel ovins), de caprins (11,4 p.c. du cheptel caprin), d'asins (58 200) et de volaille (4 882 700).

4.3.3.4. Végétation

La végétation est constituée principalement de forêts claires, de savanes boisées, de savanes arbustives et arborées, ainsi que de prairies.

4.3.7. La région nord-ouest

La Région nord-ouest occupe une superficie de 30 817 km² soit 11 p.c. de la superficie totale du pays.

4.3.4.1. Climat

Sa pluviométrie moyenne varie entre 600 à 900 mm du nord au sud. Son réseau hydrographique est constitué de cours d'eau permanents que sont le Mouhoun et le Sourou.

4.3.4.2. Sols

Les sols sont en majorité composés de sols ferrugineux tropicaux. On y rencontre également des sols bruns eutrophes tropicaux peu lessivés, et des sols hydromorphes peu humifères.

4.3.4.3. Population et activités économiques

La région nord-ouest compte 1.842 557 habitants, soit 13,41 p.c. de la population totale (Anonyme, 2006).

Les principales activités sont la culture de céréales traditionnelles (sorgho, mil), l'élevage (bovins, ovins caprins, asins et volaille), et la maraîchéculture.

4.3.4.4. Végétation

La végétation est peu dense et est constituée de steppes, de formations ripicoles ainsi que des formations inondables.

4.3.5. La région centre (Plateau Central)

Elle occupe une superficie de 94 000 km² soit 34 p.c. de la superficie totale du pays.

4.3.5.1. Climat

Sa pluviométrie varie entre 500 et 900 mm. Les températures annuelles moyennes sont de 36°C pour les maximales et 18°C pour les minimales. Les maxima sont enregistrés entre avril et mai tandis que les minima se situent entre décembre et janvier.

Son réseau hydrographique est constitué essentiellement des cours d'eau du Nazinon, Mouhoun et Nakambé.

4.3.5.2. Sols

Les divers types de sols rencontrés dans la région centre sont :

- les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés et lessivés sur matériau sablo-argileux ou argilo-sableux (50 p.c.),
- les sols d'érosion, minéraux bruts et sols peu évolués (30 p.c.),
- les vertisols (7 p.c.),
- les sols hydromorphes (13 p.c.).

Dans l'ensemble, ces sols représentent des potentialités médiocres en raison de leurs propriétés chimiques et physiques défavorables (Sédogo, 1993).

4.3.5.3. Population et activités économiques

La région centre du Burkina Faso est la zone la plus peuplée du pays. Sa population qui est estimée à 4 982 750 habitants soit 36, 29 p.c. de la population totale (INSD, 2006), appartient pour la plupart au groupe ethnique Mossi. On y rencontre également les Gourounsi à l'Ouest et au Sud, ainsi que les Bissa au Sud-Est.

L'agriculture du Plateau Central est de type traditionnel et caractérisé par les cultures de sorgho et de mil essentiellement ainsi que du niébé, de l'arachide, du maïs et des cultures maraîchères.

L'élevage est de nature sédentaire avec un cheptel constitué principalement de petits ruminants et de bovins.

4.3.5.4. Végétation

La végétation de la Région centre se compose de steppes à arbrisseaux, des arbustes et arbres clairsemés à densité croissante du Nord au Sud. On note aussi la présence de forêts claires dans le Sud et de galeries forestières le long des cours d'eau. La forte demande en terre de culture, liée à la forte densité de population, a entraîné une forte dégradation des forêts.

Conclusion

L'étude a été réalisée dans des sites localisés dans la région du Plateau central.

CHAPITRE V : MILIEU D'ETUDE: LA STATION DE RECHERCHES AGRICOLES DE SARIA

Introduction

Notre travail a eu pour cadre principal la Station de Recherches Environnementales et Agricoles de Saria.

5.1. Milieu physique

La Station de Recherches Agricoles de Saria est implantée dans la Région Centre du pays, au niveau du village de Saria d'où elle tire son nom. Elle a été créée dans les années 1923, comme une antenne de la Station de Recherche de Bambey au Sénégal et est située à 80 km à l'Ouest de Ouagadougou. Elle a pour coordonnées géographiques 2°9' de longitude Ouest et 12°16' de latitude Nord.

La Station de Saria est installée sur un espace relativement plat (altitude 300 m). Elle couvre une superficie de 400 ha.

5.1.1. Climat

Il est du type sahélo-soudanien caractérisé par une pluviométrie de 700 à 800 mm et une température moyenne élevée (28°C).

5.1.1.1. Vents

Ce sont ;

- l'harmattan: soufflant de direction nord-est, l'harmattan est un vent très sec, il est chaud le jour, et modéré à froid la nuit. Il augmente le dessèchement, l'évaporation et l'érosion éolienne des sols ;

- la mousson: c'est un vent humide, de direction sud-ouest à ouest et qui est à l'origine des pluies.

5.1.1.2. Humidité relative

La Station de Saria se caractérise par une humidité relative forte en saison pluvieuse et faible en saison sèche 72,20 p.c. et 17,45 p.c. respectivement (moyennes des relevés des mois d'août et de janvier à 18 heures en 1997).

5.1.1.3. Pluviométrie

La saison des pluies dure 4 mois (juin à septembre) pendant lesquels tombent 90 p.c. du total des précipitations, avec un maximum très marqué en août. Pendant la saison des pluies, le ciel nuageux intercepte l'énergie solaire entraînant une baisse de la température et une augmentation de l'hygrométrie. Ces facteurs concourent à faire baisser l'évapotranspiration (ETP).

La hauteur totale des pluies ainsi que leur répartition sont très irrégulières, en particulier les dates de début et de fin des pluies. Les précipitations constituent le facteur le plus contraignant pour la production végétale de par la hauteur d'eau qui tombe et sa répartition dans le temps.

Les figures 7 et 8 illustrent les précipitations et les températures moyennes enregistrées sur une période de dix années (1991-2001).

5.1.2. Végétation

Elle comprend trois strates:

- la strate arborée dans laquelle on retrouve aux champs des espèces protégées comme: *Vitellaria paradoxa* (karité), *Parkia biglobosa* (nééré), *Tamarindus indica* (tamarinier),
- la strate arbustive constituée essentiellement de *Combretum micrathum* (quinqueliba) et *Guiera senegalensis* (wilwiga en langue mooré),

- la strate herbacée composée d'*Andropogon gayanus*, de *Dactyloctenium aegyptiacum*, *Striga sp* et *Crotalaria retusa*. On rencontre aussi des espèces comme *Cymbopogon giganteus* et *Schoenfeldia gracilis* qui colonisent les sols pauvres.

5.1.3. Hydrographie

Le réseau hydrogéologique de la zone de Saria est caractérisé par l'absence de cours d'eau. Le Nazinon est le fleuve le plus proche, il est situé à une vingtaine de kilomètres environ de Saria. On y trouve des bas-fonds et quelques retenues d'eau.

5.1.4. Géomorphologie

Le terroir de Saria présente une morphologie de plateau latéritique, avec une altitude moyenne de 300 mètres. Les études de Bertrand (1989) cité par Sédogo (1993) ont permis de dégager quatre interfluves (figure 9) :

- ✚ le sommet d'interfluve ;
- ✚ le haut de versant comprenant des sols rajeunis dérivés d'une altération monofersialitique ;
- ✚ le bas de versant d'où provient la majorité des sols cultivés ;
- ✚ le remblai alluvial formé de matériaux limoneux-sableux à limoneux-argileux ;
- ✚ les bas-fonds à vocation rizicole.

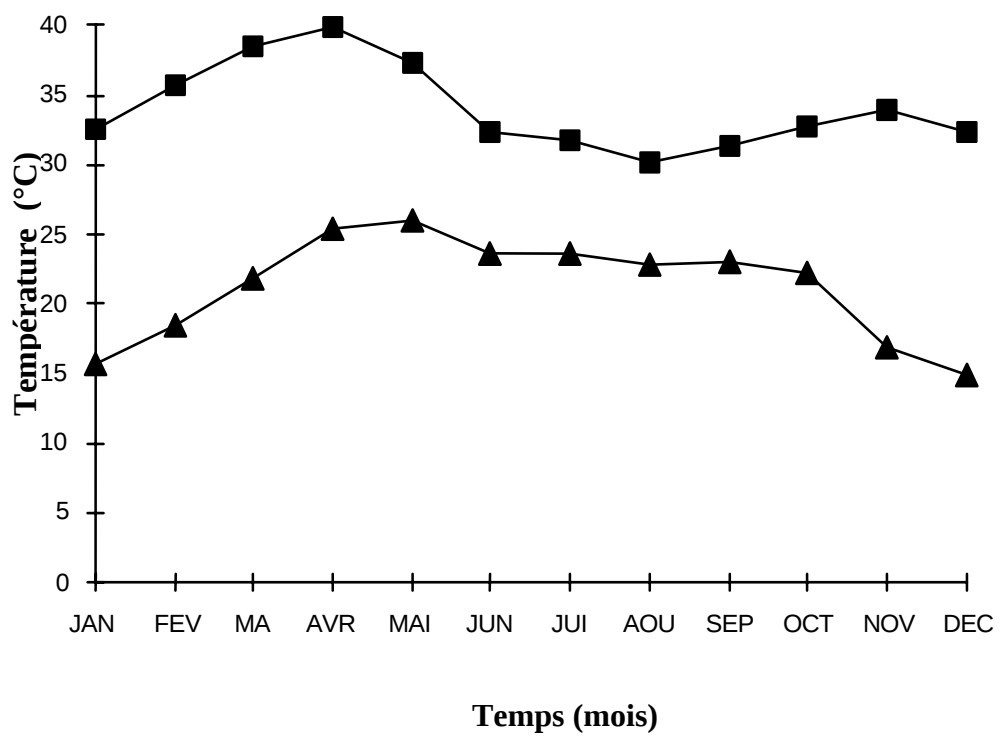


Figure 7-Températures moyennes de la Station de Saria sur une période de dix années (1991 à 2001).

Minima (▲), Maxima (■)

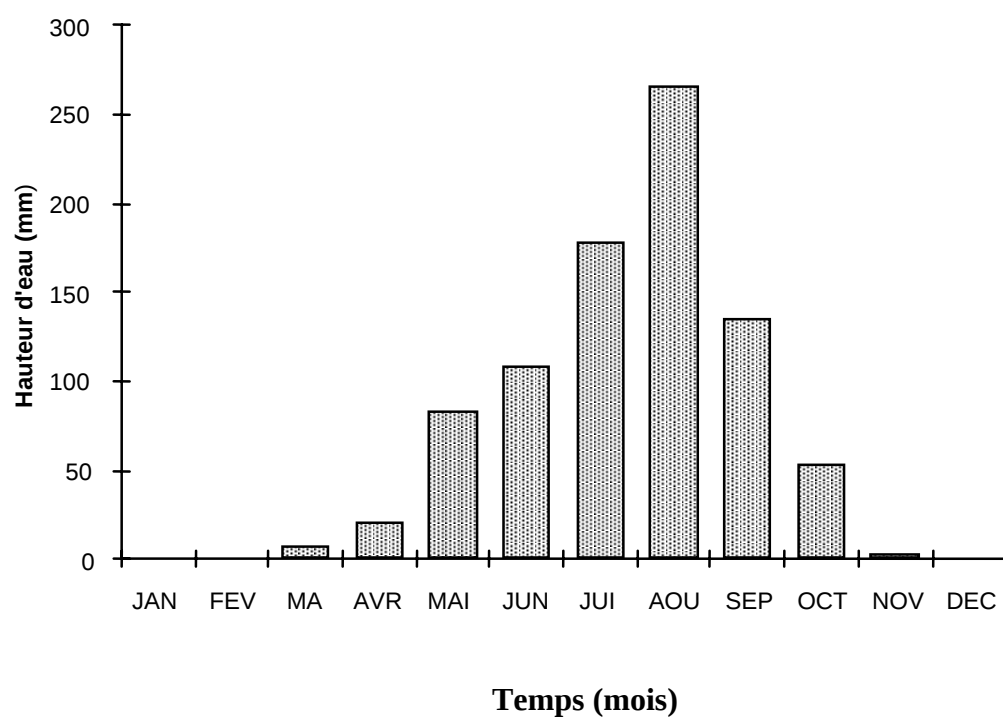


Figure 8- Précipitations moyennes de la Station de Saria sur une période de dix années (1991 à 2001).

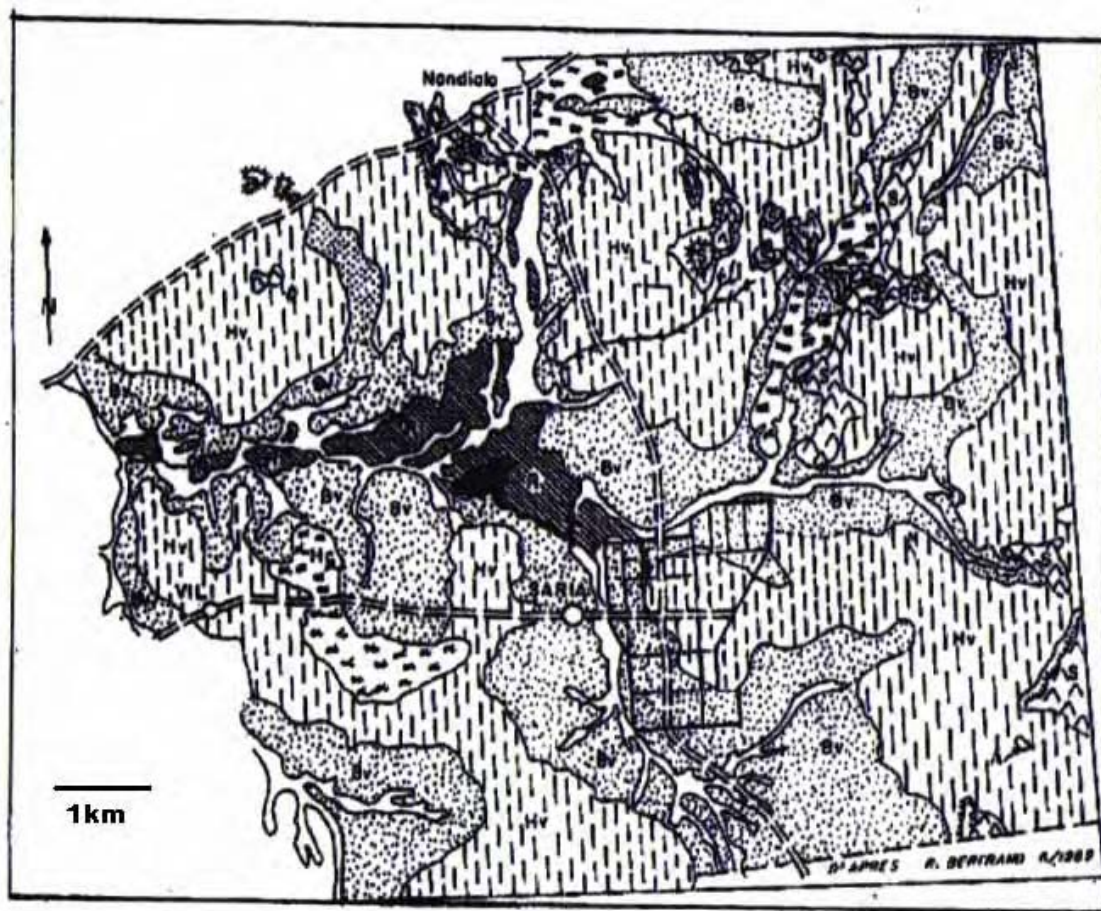


Figure 9 – Carte morphopédologique de reconnaissance de Saria (Burkina Faso)
(D'après R. Bertrand, 1989)

LEGENDE

-  Sommet d'interfluve : glacis cuirasses + ou – démantelées
-  Haut de versant à sols rajeunis et parfois indurés
-  Haut de versant cuirassé
-  Zone de ravinement intense
-  Bas de versant
-  Remblai alluvial
-  Ravins
-  Retenue d'eau
-  Emplacement de l'Essai Entretien de la fertilité

5.1.5. Géologie

Les formations géologiques qui sont attribuées au terroir de Saria sont de type précambrien. Une étude systématique réalisée par Jenny (1964) et reprise par Roose et *al.* (1981) décrit une chaîne qui s'étage sur une pente très faible (5 à 10 p.m.) depuis les plateaux jusqu'aux bas-fonds où la nappe phréatique remonte à la surface en saison pluvieuse.

En haut de pente, ce sont des sols gravillonnaires filtrants à carapace affleurante. Cette carapace présente des fissures permettant aux racines un enracinement profond (Somé, 1989). Ces sols prennent en masse dès qu'ils se dessèchent, en raison de leur forte teneur en argiles peu gonflantes avec la prédominance de sables fins.

5.1.6. Les sols

Ils sont de type ferrugineux tropical.

5.1.6.1. Caractéristiques chimiques

Les sols de la Station de Saria sont chimiquement très pauvres, en particulier en matière organique et cela dès l'horizon de surface. Leurs caractéristiques chimiques sont données par le tableau III.

Tableau III- Caractéristiques chimiques des sols de Saria (Ouattrra, 2000)

Composés	Teneur
MO	0,4 à 1 p.c.
Azote	0,2 à 0,6 p.m.
K total	480 à 1950 ppm
K disponible	34 à 224 ppm
P total	80 ppm environ
P assimilable	3 à 7 ppm
CEC	Faible à élevé
pH	moyennement acide à neutre

5.1.6.2. Caractéristiques physiques

Dans la couche de sol cultivable on distingue :

- un horizon de surface de 0 à 15-20 cm de couleur gris-clair légèrement humifère, sableux,
- un horizon inférieur de 15-20 cm jusqu'à la carapace de battement de la nappe (50 cm), couleur ocre, plus argileux.

Le tableau IV présente les principales caractéristiques physiques de ces deux horizons.

Les réserves en eau sur une profondeur de 50 cm permettent de prolonger l'alimentation des plantes une dizaine de jours après la tombée des pluies.

Tableau IV- Caractéristiques physiques des horizons 0-20 et 20- 50 cm des sols de Saria.

Horizon	Argile	Limon	Densité du sol apte réelle		Porosité	Humidité A pF 4,2	Eau réserve utile
0-20 cm	7-10 p.c	6-7 p.c.	1,75	2,65	34 p.c.	7 p.c.	24 mm
20-50 cm	20 p.c.	6-7 p.c.	1,65	2,65	38 p.c.	14 p.c.	30 mm

Source : (Arrivets, 1971):

5.2. Système de production

Il est à base de céréales (sorgho et mil essentiellement) qui représentent 75 à 80 p.c. des productions pluviales (Sédogo, 1993). Les rendements sont très

faibles, 500 à 600 kg/ka pour le mil et 600 à 900 kg/ha pour le sorgho. Les autres spéculations sont le niébé cultivé en association avec le sorgho, l'arachide, le maïs, le voandzou, les cultures maraîchères.

5.3. Dégradation des terres

La dégradation des terres constitue l'une des difficultés majeures que rencontrent les agriculteurs de Saria. Cette situation est la conséquence de la pratique de ramassage systématique des résidus de récoltes par les ménages pour des usages domestiques. On assiste alors à une dégradation d'ordres divers :

- ✚ dégradation physique provoquée par l'eau et le vent. Elle entraîne un important ruissellement et des pertes en terre considérables (Zougmore et *al.*, 2000) ;

- ✚ dégradation chimique suivie de l'acidification et de l'épuisement des éléments minéraux nutritifs (Cattan et *al.*, 2001) ;

- ✚ dégradation biologique avec la diminution de la teneur en matière organique du sol (Cattan et *al.*, 2001).

Les paysans tentent de remédier au problème en apportant de la cendre, des ordures ménagères et des déchets organiques de tous ordres dans leurs « champs de case » (Arrivets, 1971). Les champs plus éloignés ne bénéficient pas du même traitement que les « champs de case » et se dégradent encore davantage.

Conclusion

Toutes les conditions étaient réunies à Saria (équipement technique, parcelles d'expérimentation, main d'œuvre, etc.) ce qui a facilité la réalisation de ce travail.

CHAPITRE VI : MATERIELS UTILISES

Introduction

L'étude a été réalisée à l'aide de matériels et méthodes classiques, couramment utilisés pour suivre l'évolution des paramètres chimiques et biologiques des sols.

6.1. Echantillons de sols

Ils proviennent des parcelles de l'essai Entretien de la Fertilité de Saria. Le dispositif a été mis en place en 1960 avec pour objectif d'étudier les effets des différents amendements minéraux et organo-minéraux et des successions des cultures sur les rendements des plantes et la fertilité des sols.

Il a servi de cadre pour de nombreuses études chimiques et physiques (Guira, 1988 ; Sédogo, 1993 ; Ouattara, 1994).

Le dispositif comprend les rotations sorgho-sorgho, sorgho-niébé et sorgho-coton. Les labours des parcelles sont réalisés à l'aide de charrue à traction bovine.

Les sols utilisés pour cette étude ont été prélevés dans les rotations sorgho-sorgho et sorgho-niébé. L'essai comprend les traitements:

(T) =	Témoin sans engrais
fmr =	Fumure minérale faible* avec restitution de paille
fmo =	Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier
fm =	Fumure minérale faible
FMO =	Fumure minérale forte**+40t/ha/2ans de fumier
FM =	Fumure minérale forte

*fumure minérale faible = 100kg/ha d'engrais N P K (14-23-14)+50kg/ha d'urée à 46 % de N

****fumure minérale forte = 150kg/ha d'engrais N P K (14-23-14)+50kg/ha de KCl à 60% de K+100kg/ha d'urée**

De 1960 à 1976 la fumure organo-minérale faible (fmo) et la fumure organo-minérale forte ont, respectivement, reçu chaque année 5 et 40 tonnes de fumures. A partir de 1976, l'apport de fumier s'est fait tous les deux ans.

En 1977 et 1987 un chaulage des parcelles a été effectué en apportant 1,5 tonne par hectare de chaux agricole.

En plus des sols du dispositif expérimental de Saria, d'autres sols ont également été prélevés dans des champs paysans à Saria, Saponé et Kamboinsé, ainsi que dans le parc du CNRST à Ouagadougou.

A Saria et à Saponé les sols ont été prélevés dans deux zones distinctes : sous houppier (SH) et hors houppier (HH). Les prélèvements ont été effectués dans des parcelles peuplées de *Vitellaria paradoxa* (Saponé VP, Saria VP) ou de *Parkia biglobosa* (Saponé PB).

Tous les prélèvements ont été effectués à l'horizon 0-20 cm et les sols passés au tamis de maille 2 mm.

Les analyses chimiques des sols ont été réalisées par le Laboratoire de Microbiologie Forestière du Département Productions Forestières, INERA/CNRST Ouagadougou.

Les tableaux V et VI rapportent les caractéristiques chimiques et le pH des sols.

Tableau V- Caractéristiques chimiques des sols de l'Essai Entretien de la Fertilité de Saria
(moyennes sur trois années 1995, 1996, 1997)

FUMURE	C organique (p.m.)		N total (p.m.)		P assimilable (p.m.)		pH eau	
	SN	SS	SN	SS	SN	SS	SN	SS
T	2,87	2,47	0,25	0,24	0,016	0,023	6,67	6,63
fmr	3,27	2,58	0,28	0,25	0,085	0,091	5,73	5,87
fmo	3,15	3,19	0,32	0,27	0,095	0,135	5,93	5,93
fm	2,81	2,79	0,28	0,26	0,083	0,107	5,43	5,37
FMO	4,80	5,24	0,45	0,42	0,278	0,277	6,23	6,27
FM	2,87	2,33	0,28	0,25	0,096	0,100	4,90	5,13
Total	19,97	18,6	1,86	1,69	0,65	0,733	34,89	35,2
Moyenne	3,30	3,10	0,31	0,28	0,108	0,122	5,82	5,87
Ecart type	0,76	1,09	0,07	0,07	0,088	0,084	0,62	0,56

Source : (Laboratoire de Microbiologie Forestière, INERA/DPF, Ouagadougou)

SN = sorgho-niébé ; SS = sorgho-sorgho.

(T) = Témoin sans engrais; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille ; fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ; FMO= Fumure minérale forte+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte

Tableau VI- Caractéristiques chimiques des sols des champs paysans de Saponé et de Saria

Sols	C organique (p.m.)		N total (p.m.)		P assimilable (p.m.)		pH eau		pH KCl	
	SH	HH	SH	HH	SH	HH	SH	HH	SH	HH
Saponé VP	1,17	0,68	0,53	0,35	2,03	1,84	6,0	6,7	6,1	5,6
Saponé PB	0,62	0,68	0,38	0,35	1,93	1,78	5,5	5,7	4,6	4,6
Saria VP	1,03	0,83	0,47	0,52	1,90	2,96	6,0	5,8	5,2	4,8

Source : (Laboratoire de Microbiologie Forestière, INERA/DPF, Ouagadougou)

SH = sous houppier ; HH= hors houppier.

6.2. Matériel végétal

Le matériel de base utilisé est constitué des variétés ICSV 1049 de sorgho (*Sorghum vulgare*) et KN 1 de niébé (*Vigna unguiculata*). Les semences ont été fournies par le département production végétale (INERA/Kamboinsé).

6.2.1. Variété ICSV 1049

Elle est issue du croisement E35-1 x Framida, et a été obtenue en 1986 par l'ICRISAT/INERA..

La plante a un cycle semis-maturité de 110-120 jours et mesure deux mètres. Sa graine, de couleur blanche, est très appréciée par les populations burkinabè du fait de la bonne qualité de la pâte (tô) préparée à partir de sa farine.

La variété ICSV1049 (figure 10) est résistante à la verse, à la sécheresse et à certaines maladies (maladies foliaires, striga, moisissures des graines). Elle est adaptée aux zones comprises entre les isohyètes de 600 à 900 mm. En station son rendement grain potentiel est de 4000 kg/ha et peut atteindre 1500 kg/ha en milieu réel. La période optimum de semis s'étend du 15 juin au 15 juillet.

6.2.2. Variété KN1

Elle a été sélectionnée par l'IITA au Nigéria, puis testée au Burkina. Sa production est satisfaisante dans les zones à pluviométrie comprise entre 700 et 1100 mm où elle peut atteindre 2000 kg/ha si les conditions de culture sont bien respectées. La récolte se fait en deux fois, la première intervient dès le 65^{ième} jour après semis. Elle résiste aux maladies qui affectent la production des autres variétés de niébé ; seulement pour le prémunir contre les attaques d'insectes, il faut appliquer des traitements insecticides. Le premier traitement (au Décis) doit se faire au moment de la formation des boutons floraux (figure 11), soit environ trente cinq jours après semis et ensuite un deuxième traitement intervient quinze



Figure 10– Plantes de sorgho (variété ICSV 1049) en pleine épiaison dans l'Essai Entretien de la Fertilité de Saria



Figure 11 – Plantes de niébé (variété KN1) présentant des fleurs et des gousses

jours après le premier. La graine a un goût agréable et est très riche en éléments nutritifs.

6.3. Matériel microbien (microorganismes)

L'étude a porté sur les microorganismes du sol (champignons et bactéries) jouant un rôle dans le processus de la transformation et de l'utilisation du carbone, du phosphore et de l'azote.

Ces microorganismes sont :

- ✚ les endomycorhizes à vésicules et arbuscules jouant un rôle capital dans l'utilisation du phosphore du sol par la plante hôte ;
- ✚ le *Rhizobium* responsable de la fixation d'azote ;
- ✚ les germes ammonifiants et les germes nitrifiants intervenant dans la transformation de l'azote organique en azote minéral ;
- ✚ les germes amylolytiques responsables de l'hydrolyse de l'amidon.

Le choix de ces espèces se justifie par l'important rôle que jouent le phosphore, l'azote et le carbone dans la production végétale.

6.4. Fumures et engrais

Les sols du dispositif expérimental de Saria ont reçu, suivant les traitements, des apports d'engrais minéral avec ou sans adjonction de matière organique (fumier de parc ou paille de sorgho). Pour la fumure minérale faible l'engrais NPK (14-23-14) et l'urée (46 p.c.) ont été apportés aux doses respectives de 100 et 50 kg/ha, pour la fumure minérale forte l'engrais NPK, l'urée (46 p.c.) et le KCl (60 p.c.) ont été respectivement apportés aux doses de 100, 100 et 50 kg/ha.

Les sols des champs paysans reçoivent, dans le meilleur des cas, la dose vulgarisée de 100 kg/ha de la fumure NPK (14-23-14). Dans la majorité des situations les doses des fumures appliquées sont largement en deçà des doses préconisées.

6.5. Matériel technique

Il se compose de :

- Balance électronique type Ohaus, modèle AS 120, (précision 0,0001 g) ;
- Incubateur (Thermosi, France) modèles SR 1000 et SR 3000 ;
- Autoclave vertical standard, type 40 x 70 (Lequeux, Paris, France), capacité 100 litres ;
- Hotte à flux laminaire horizontal modèle HLF 36 ;
- Réfrigérateur Agor double portière, capacité 200 litres ;
- Centrifugeuse type ALC modèle 4236 (6000 RPM) ;
- Loupe binoculaire Olympus ;
- Microscope optique Olympus modèle BH 2 ;
- Serre ;
- Chambre de culture de photopériode 16 heures, de températures nocturne et diurne 27 et 35°C, intensité lumineuse 60 W/m², humidité relative 60 à 70 p.c. ;
- Spectrocolorimètre 20 D (Milton Company, USA) ;
- pH mètre électronique type P 60 Tacussel (série B n° 68995, France) ;
- Divers consommables comprenant verrerie, produits chimiques ;
- Etc..

6.6. Matériel bureautique et informatique

Il se compose de :

- Ordinateur portable type Dell Latitude CPX, DD 10 Go et 128 Mo de Ram, Windows XP professionnel 2002 ;

- Imprimante Hp deskjet 3325 ;
- Adaptateur USB type Edimax pour connexion réseau sans fil ;
- Clés USB pour stockage des données, des CD,
- etc..

Conclusion

Les matériels décrits ont permis de réaliser les tests, tant sur le terrain qu'en laboratoire.

CHAPITRE VII : METHODES UTILISEES

Introduction

Les méthodes utilisées sont des méthodes classiques utilisées tant sur le terrain qu'en laboratoire pour déterminer les paramètres chimiques et biologiques des sols.

7.1. Prélèvement et conditionnement des sols

Les sols ont été prélevés dans l'horizon de surface 0-20 cm. Pour ce faire la surface du sol a été nettoyée afin d'éliminer les débris végétaux, puis, à l'aide d'une pioche, les échantillons ont été prélevés à proximité des racines. Les échantillons ont été repartis en deux lots dont l'un a été gardé au laboratoire à température ambiante et l'autre conservé au congélateur, dans des sachets plastiques.

Les sols prélevés ont été gardés au congélateur dans le but de bloquer les réactions biologiques en attendant leur emploi.

7.2. Production des plantules

Après stérilisation à l'alcool éthylique à 90°, les graines de niébé et de sorgho ont été mises à germer dans des boîtes de Pétri stériles contenant du coton imbibé d'eau. Les plantules, âgées de 3 à 4 jours, ont été repiquées à raison d'une plantule par pot.

7.3. Culture des plantes

Les travaux ont porté d'une part sur des plantes cultivées au champ et d'autre part sur celles produites en vases de végétation.

Les cultures des plantes ont été réalisées pour évaluer :

✚ le potentiel nodulant et mycorhizogène du sol. Les analyses ont porté sur des plantes de niébé et de sorgho cultivées en plein champ, et celles produites en vases de végétation. La récolte du niébé a été effectuée 5 et 7 semaines après semis, respectivement pour les cultures en vases de végétation et au champ, celle du sorgho est intervenue 35 jours après semis.

✚ l'incidence du traitement thermique du sol sur les rendements des plantes.

7.3.1. Cultures au champ

Elle a eu lieu pendant la saison pluvieuse en plein champ, sur des parcelles de 10 x 8,40 m.

7.3.2. Cultures en vases de végétation

7.3.2.1. Cultures en salle

- Les plantes de sorgho ont été cultivées dans des pots en PVC contenant 500 g de sol. La culture a été réalisée en salle de culture.

7.3.2.2. Culture en serre

Les plantes de niébé ont poussé dans des pots en PVC, de capacité 1 kg, disposés dans une serre couverte de tôles en matière translucide et éclairée par la lumière du jour.

L'arrosage à l'eau distillée stérile a été quotidiennement assuré pour toutes les cultures.

7.4. Traitement thermique des sols :

Les sols prélevés dans les champs paysans à Saria et Saponé ont été répartis en quatre lots dont un lot non témoin soumis au traitement thermique et trois lots chauffés à l'étuve à 120, 150 et 180°C.

Les sols du dispositif expérimental de Saria, et ceux de Kamboinsé et du parc du CNRST ont été scindés en deux lots, dont un lot témoin non traité et un lot autoclavé à 120°C pour une durée de 2 fois 1 heure. L'autoclavage a été réalisé à l'aide d'un autoclave vertical standard, type 40 x 70 (Lequeux, Paris , France).

7.5. Stérilisation des graines

Les graines ont été introduites, dans un bocal contenant de l'alcool éthylique à 90°C. Par moments le bocal a été légèrement agité afin de mieux couvrir toutes les graines. Après un séjour d'environ 5 mn, les graines ont été retirées et rincées, plusieurs fois avec de l'eau distillée stérile.

7.6. Analyses chimiques des sols et des végétaux

Les méthodes de Walkley-Black (Walkley et Black, 1934), de macro-Kjeldahl (Hillebrand et *al.*, 1953) et de Bray 1 (Dickman et Bray, 1940) ont servi, respectivement, pour le dosage des éléments C, N et P des sols.

7.6.1. Phosphore assimilable

Il a été dosé selon la méthode au fluorure et à l'acide dilué Bray 1 (Dickman et Bray, 1940). Pour les sols, on a procédé à une extraction par une solution d'extraction contenant de l'acide chlorhydrique et du fluorure d'ammonium. Les échantillons de végétaux avant l'extraction ont été au préalable calcinés au four. Après le développement de la coloration, la lecture a été effectuée par

spectrocolorimétrie à 882 nm à l'aide d'un spectrocolorimètre (Spectronic 20 D, Milton Company, USA).

Le procédé a consisté à introduire 1,5 g de sol tamisé et 10,5 ml de solution de 0,3M NH_4F et 0,025M HCl dans un flacon plastique de 25 ml. L'extrait d'échantillon de sol (2 ml) plus 8 ml de solution (acide molybdique + acide ascorbique) ont servi pour développer la couleur. La lecture des absorbances au spectrocolorimètre est effectuée à 882 micromètres

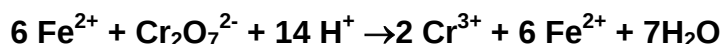
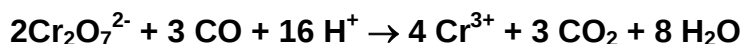
7.6.2. Azote total

Il a été déterminé selon la méthode de macro-Kjeldhal (Hillebrand et *al.*, 1953) consistant à une attaque par l'acide sulfurique concentré bouillant en présence du catalyseur Dumazert et Marcelet. Cette attaque entraîne la transformation de l'azote en azote ammoniacal. Après distillation en présence de soude 10 N, l'ammoniac est recueilli dans une solution d'acide borique 2 p.c. contenant un indicateur coloré composé de rouge de méthyle et de vert de bromocrésol puis dosé par de l'acide sulfurique N/50.

7.6.3. Carbone organique

La méthode Walkley-Black (Walkley et Black, 1934) a servi pour doser le carbone organique. Elle consiste à une oxydation à froid de l'échantillon (sol ou végétal) par une solution de bichromate de potassium et de H_2SO_4 (dans le rapport 1/2). L'excès de bichromate est dosé en retour avec une solution standard de Fe^{2+} (dans une solution de sel de Mohr) pour déterminer la quantité qui a réagi.

Les équations de réaction sont les suivantes :



La procédure a consisté à introduire 1,5 à 4 g de sol, passé au tamis de 2 mm de maille, dans un Erlenmeyer de 500 ml, puis à ajouter 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ 1N et 20 ml de H_2SO_4 concentré. La solution diluée avec 200 ml d'eau distillée a été titrée avec Fe^{2+} à 0,5 N jusqu'au virage rouge brique en présence de 10 gouttes d'indicateur (ferroïne).

Calcul du pourcentage de C organique facilement oxydable :

$$C \text{ org. (p.c.)} = (B - S)NFe^{2+} \frac{1200}{p} \frac{4000}{4000}$$

B = volume du sel de Mohr utilisé pour titrer le blanc ;

S = volume du sel de Mohr utilisé pour titrer l'échantillon ;

P = poids du sol

N = normalité du sel de Mohr.

7.6.4. pH

Le pH_{eau} a été mesuré au pH mètre électronique sur une suspension de terre-eau distillée, de rapport 1/2,5. Pour déterminer le pH_{KCl}, l'eau distillée a été remplacée par une solution normale de KCl

7.7. Paramètres mesurés

7.7.1. Chez le sorgho

La hauteur des plants et le diamètre de la tige ont été mesurés après 6 semaines de culture. La récolte est intervenue à la 7^e semaine. Le matériel végétal constitué des racines et des parties aériennes, a été séché à 70° C pendant 48 heures et pesé.

7.7.2. Chez le niébé

A la récolte effectuée au cours de la cinquième semaine, le matériel végétal constitué de racines et des parties aériennes a été séché à 70°C pendant 48 heures à l'étuve et pesé. Les nodules extraits des racines ont été comptés, séchés et pesés.

7.8. Analyses microbiologiques

7.8.1. Estimation de l'activité des bactéries responsables de la transformation des substrats azotés et carbonés.

La technique utilisée est celle de Pochon (Pochon et Tardieux, 1962), faisant appel à des milieux liquides spécifiques,ensemencés par des suspensions dilutions de terre. A ces milieux liquides un substrat a été ajouté pour stimuler le développement des groupes de bactéries.

Le milieu utilisé comprend une solution saline standard et une solution d'oligo-éléments composées comme suit:

- solution saline standard:

K_2HPO_4 , 5 g/l; NaCl, 2,5 g; Fe_2SO_4 0,05 g/l; $SO_4(NH_4)_2$ 0,05 g/l,

-solution d'oligo-éléments:

K_2MoO_4 0,05 g/l; $Na_2B_4O_7$ 0,05 g/l; $CdSO_4$ 0,05 g/l; $CuSO_4$ 0,05 g/l; $ZnSO_4$ 0,05 g/l; $MgSO_4$ 0,05 g/l; $MnSO_4$ 0,05 g/l; une goutte de perchlorure de fer.

7.8.1.1. Bactéries ammonifiantes

L'expérience consiste à rechercher de l'ammoniac par le réactif de Nessler, dans un milieu salin contenant, comme source de NH_3 , de l'asparagine ($C_4H_8N_2H_2O$). Les suspensions-dilutions de terre ont été ensemencées dans les tubes et mises à incuber à 28°C.

L'expérience repose sur le principe que le produit initial (utilisé comme source de NH_3), par hydrolyse enzymatique, est transformé en unités plus simples du genre peptides et acides aminés. Les acides aminés formés subissent aussi diverses transformations dont celle, qui sous l'action de la microflore bactérienne (bactéries ammonifiantes), entraîne la formation de gaz ammoniacal. L'ammoniac formé est révélé par le réactif de Nessler.

7.8.1.2. Bactéries nitrifiantes

La recherche des bactéries nitrifiantes se fait dans un milieu renfermant des nitrates. Le sulfate d'ammonium $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$, utilisé comme substrat, sous l'effet des bactéries nitrifiantes se décompose en éléments plus simples dont les nitrates ou les nitrites. La présence des nitrates ou des nitrites est révélée par la diphénylamine sulfurique. L'incubation des tubesensemencés se fait à 28°C pendant 20 jours.

7.8.1.3. Bactéries amylolytiques

La numération des bactéries amylolytiques se fait par la recherche de l'absence d'amidon $(\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_5)_n$, dans un milieu liquide auquel ce substrat a été ajouté comme source de carbone. La coloration du milieu se fait par la liqueur de GRAM.

On a noté quotidiennement pour chaque dilution, le nombre de tubes positifs (+), sachant que chaque tube (+) contient au moins un germe ayant provoqué la réaction. Les dénombrements des bactéries ont été faits par la méthode du nombre le plus probable (NPN), à partir de la table de McCrady.

L'activité des germes est estimée en fonction du temps de révélation. Plus elle est élevée plus le temps de révélation est court.

7.8.2. Estimation du taux de mycorhization

Le taux de mycorhization des racines a été estimé par la méthode de Trouvelot et *al.* (1986) après coloration au bleu de Trypan selon la technique de Phillips et Hayman (1970).

La fréquence (F) et l'intensité (I) de mycorhization sont les deux paramètres mesurés pour estimer le taux de colonisation des racines. Elles sont exprimées en pour cent et données par les formules suivantes :

$$F = 100 (N-n_0)/N$$

où N est le nombre total de fragments de racines observés et n_0 le nombre de fragments sans trace de mycorhize. F reflète l'importance de la colonisation des racines.

$$I = (95n_5 + 70n_4 + 30n_3 + 5n_2 + n_1)/N$$

où $n_5, n_4, \dots, n_1$ désignent respectivement les nombres de fragments notés 5, 4, ... 1 ; 0 = pas d'infection, 1 = trace, 2 = moins de 10 p.c., 3 = 11 à 50 p.c., 4 = 51 à 90 p.c., 5 = plus de 90 p.c.

La présence des vésicules révèle l'infection de la racine.

7.9. Test respirométrique

7.9.1. Mesure de l'activité respiratoire des sols

Elle consiste à doser, par le test respirométrique, la quantité de gaz carbonique dégagé. Pour ce faire 100 g de terre humidifiée au 2/3 de sa capacité de rétention maximale en eau ont été introduits dans un bocal en verre de 1 litre. Dans le bocal un bécher contenant 20 ml de NaOH 0,1N et un récipient contenant de l'eau ont été placés. Le bocal hermétiquement fermé a été mis à incuber à la

température de 30°C. Le CO₂ dégagé et piégé par la soude est dosé par titration avec du HCl 0,1N en présence de la phénolphtaléine, après précipitation préalable du carbonate de sodium par 2 ml de BaCl₂ à 3 p.c.

7.9.2. Détermination de la biomasse microbienne (BM)

La biomasse microbienne a été déterminée selon la méthode de Jenkinson et Powlson (1976) à partir d'échantillons de sols fumigés et non fumigés. La fumigation a consisté, après homogénéisation de l'échantillon de sol, à déposer 100 g dans un dessiccateur contenant du chloroforme débarrassé de l'éthanol après plusieurs lavages à l'eau. A l'aide d'une pompe à vide, un vide a été créé dans le dessiccateur en vue de saturer l'atmosphère par les vapeurs de chloroforme. A l'issue de 24 heures environ de fumigation, 4 à 5 vides successifs ont été faits dans le but d'évacuer les vapeurs de chloroforme. Les sols fumigés ou non ont été mis à incuber et des échantillons ont été prélevés après 7 et 14 jours, en vue du dosage du CO₂.

7.9.3. Expression des résultats

7.9.3.1. Quantité de CO₂ dégagé ou intensité respiratoire du sol

Elle s'obtient par la formule:

$$C\text{-CO}_2(\text{mg}/100\text{g de sol}) = (V_{\text{blanc}} - V_{\text{échantillon}}) \times 2,2$$

où: V_{blanc} = nombre de ml de HCl N/10 utilisés pour les bocal témoins ;

$V_{\text{échantillon}}$ = nombre de ml de HCl utilisés pour les bocal contenant l'échantillon de terre ; à 2,2 g de CO₂ correspond 1 ml de HCl N/10 (Dommergues, 1960)

7.9.3.2. Biomasse microbienne : elle s'obtient à partir de la formule:

$$\text{Biomasse microbienne}_{(\text{mg}/100\text{g de sol})} = [F_{(0-7)} - F_{(7-14)}] / K_c$$

où: K_c =coefficient de proportionnalité représentant la fraction minéralisable en CO_2 du carbone de la biomasse, est égal à 0,41 (Anderson et Domsch 1978 ; Chaussod et *al.*, 1986 ; Kambiré, 1994) ; $F_{(0-7)}$ et $F_{(7-14)}$ représentent le C- CO_2 dégagé respectivement entre 0-7 et 7-14 jours d'incubation.

7.9.3.3. Carbone facilement minéralisable du compartiment global (CMG)

Le carbone facilement minéralisable est donné par l'équation de régression suivante proposée par Genny et *al.* (1949) et reprise par Olsen (1963).

$$X = X_0 e^{kt}$$

X représente la quantité de carbone minéralisé en un temps t donné, X_0 la quantité de carbone facilement minéralisable, k la constante de vitesse de minéralisation

7.10. Analyses statistiques des données

Les données ont été traitées par une analyse de variance et les moyennes comparées à l'aide du test de Tukey et la LSD (Least Lignificant Difference) de Fisher. Les corrélations ont été déterminées par la méthode de régression linéaire simple.

Le logiciel Minitab a permis d'effectuer les analyses.

Conclusion

Les matériels et méthodes décrits ont permis d'obtenir les résultats contenus dans les chapitres suivants.

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE VIII : RESULTATS

CHAPITRE IX : DISCUSSION

CHAPITRE VIII: RESULTATS

Introduction

Les matériels et méthodes utilisés pour les analyses dans cette étude ont permis d'obtenir des résultats successifs sur :

- 7.1. Incidence des modes de gestion de la fertilité des sols sur leur potentiel nodulant et mycorhizogène ;
- 7.2. Influence des modes de gestion de la fertilité des sols sur leur activité biologique ;
- 7.3. Influence des modes de gestion de la fertilité des sols sur l'activité des bactéries responsables de la minéralisation de l'azote et du carbone ;
- 7.4. Effets induits du traitement thermique sur les paramètres biologique et chimique du sol : Conséquences sur la production des plantes.

8-1- Incidence des modes de gestion de la fertilité des sols sur leur potentiel nodulant et mycorhizogène

Les travaux ont été réalisés sur des plantes cultivées en plein champ pendant la saison pluvieuse en 1996 et celles produites en vases de végétation en 1997.

8-1-1- Potentiel nodulant du sol

Le potentiel nodulant du sol, c'est son aptitude à induire la formation des nodules chez une légumineuse.

8.1.1.1. Cultures au champ

Le nombre, le poids sec total et le poids sec par nodule sont présentés par la figure 12. L'analyse de variance indique des différences significatives entre les fumures. L'examen des histogrammes de cette figure permet de répartir les valeurs moyennes en groupes homogènes distincts :

★ Pour le poids sec total des nodules par plante (figure 12-a) on a :

- Le groupe 1 comprenant le témoin et la fumure FMO ;
- Le groupe 2 composé des fumures fmr, fmo et FM ;
- Le groupe 3 formé de la fumure fmr.

Les valeurs moyennes des fumures du groupe 1 sont significativement inférieures à celle des fumures du groupe 3 (au seuil 0,05) ; le groupe 2 présente des valeurs intermédiaires.

★ Pour le nombre de nodules par plante (figure 12-b) on a les trois groupes suivants :

- Le groupe 1 formé du témoin, des fumures fm et FM ;
- Le groupe 2 composé des fumures fmo et FMO ;
- Le groupe 3 comprenant la fumure fmr.

Le groupe 1 présente les valeurs moyennes les plus faibles et le groupe 2 les valeurs les plus élevées ; la valeur du groupe 3 est intermédiaire à celles des deux autres groupes.

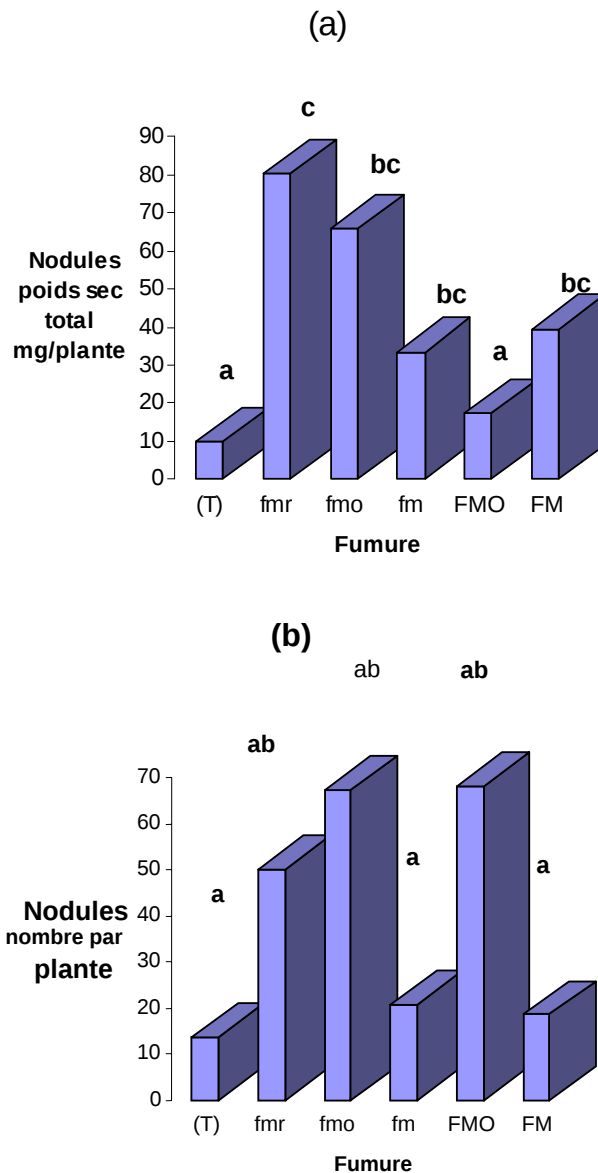


Figure 12- Poids sec total par plante (a) et nombre (b) de nodules des plantes de niébé cultivées au champ

Les histogrammes portant la même lettre ne sont pas significativement différents à $p = 0,05$

(T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible* avec restitution de paille ; fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ; FMO= Fumure minérale forte*+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte.

8.1.1.2. Cultures en vases de végétation

Le nombre et le poids des nodules, sont rassemblés dans le tableau VII. L'analyse de variance indique des différences significatives entre les traitements et permet de distinguer pour chaque paramètre trois groupes d'homogénéité :

★ Pour le nombre de nodules par plante ce sont:

- le groupe 1 comprenant les fumures fmo et FMO ;
- le groupe 2 contenant le témoin, les fumures fm et FM ;
- le groupe 3 comptant la fumure fmr.

Les valeurs moyennes du groupe 2 sont significativement inférieures à celles du groupe 1 ; le groupe 3 présente des valeurs intermédiaires.

★ Pour le poids sec total des nodules par plante ce sont:

- le groupe 1 composé de la fumure FMO ;
- le groupe 2 formé de fumures fmr, fmo et fm ;
- le groupe 3 contenant le témoin et la fumure FM.

Les valeurs moyennes du groupe 1 sont significativement supérieures à celles du groupe 3 ; le groupe 2 présente des valeurs intermédiaires.

Tableau VII- Production de nodules des plants de niébé cultivés
en vases de végétation (valeurs moyennes de 6 répétitions)

Fumures	Nombre	Poids sec	
		mg/plante	mg/nodule
(T)	27,16	26,16	1,11
fmr	27,66	42,83	1,57
fmo	43,60	98,20	2,38
fm	19,83	48,83	2,98
FMO	33,50	130,83	4,22
FM	6,50	21,66	2,91
Moyenne	26,11	61,19	2,53
Ecart-type	3,92	7,67	0,4
LSD 5%	11,32	22,12	1,16
LSD 1%	15,53	30,37	1,59

(T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille
fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ;
FMO = Fumure minérale forte+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale

8.1.1.3. Poids de matière sèche du niébé

Le tableau VIII regroupe les poids de matière sèche des racines et de la partie aérienne des plantes. Ce tableau présente des rendements correspondants aux effets cumulés des symbiotes (*Rhizobium* et mycorhizes) et des fumures. Les données indiquent les variations des rendements des plantes en fonction des fumures. Pour chaque composante de rendement, il ressort ce qui suit:

♦ Biomasse sèche de la partie aérienne (MSA)

L'analyse de variance indique des différences significatives et permet de distinguer trois groupes d'homogénéité :

- le groupe 1 composé de la fumure FMO ;
- le groupe 2 contenant le témoin, les fumures fmr, fm et FM ;
- le groupe 3 constitué de la fumure fmo ;

Le groupe 1 présente une valeur moyenne significativement supérieure à celle du groupe 3 ; le groupe 2 présente des valeurs intermédiaires.

♦ Biomasse sèche des racines (MSR)

Pour le poids sec des racines les valeurs moyennes se répartissent en 2 groupes d'homogénéité :

- le groupe 1 comprenant le témoin, les fumures fmr, fmo, fm et FM ;
- le groupe 2 formé de la fumure FMO.

La valeur moyenne du groupe 2 est significativement supérieure à celle du groupe 1.

Tableau VIII- Poids de la matière sèche du niébé en fonction des traitements
(valeurs moyennes de 6 répétitions, exprimées en milligrammes)

Traitement	MSA	MSR	MST
(T)	592	198	799
fmr	715	283	998
fmo	947	310	1238
fm	669	270	939
FMO	1366	454	1819
FM	709	235	944
Moyenne	840	292	1126
Ecart-type	64,49	55,62	90,06
LSD 5%	170	147	261
LSD 1%	229	197	350

MSA = masse sèche de la partie aérienne ; MSR = masse sèche des racines

MST = masse sèche totale

(T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille

fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ;

FMO = Fumure minérale forte+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte

♦ Biomasse sèche totale (MST)

L'analyse de variance indique des différences significatives et permet de distinguer les trois groupes d'homogénéité suivants :

- le groupe 1 composé de la fumure FMO ;
- le groupe 2 comptant le témoin, les fumures fmr, fm et FM ;
- le groupe 3 comportant la fumure fmo.

Les valeurs observées par groupe d'hétérogénéité se classent comme suit : groupe 1 > groupe 3 > groupe 2.

8.1.2. Potentiel mycorhizogène du sol

Le potentiel mycorhizogène d'un sol est son aptitude à induire l'infection des racines par les Mycorhizes.

8.1.2.1. Mycorhization du niébé

La figure 13 présente le taux de mycorhization des plantes. L'analyse de variance n'a pas montré de différences significatives entre les traitements, toutefois les tendances qui se dégagent indiquent :

Au niveau de la fréquence d'infection une répartition des valeurs en 2 groupes :

- le groupe 1 comprenant les fumures fmr, fmo et le témoin ;
- le groupe 2 composé des fumures fm, FMO et FM.

Le groupe 1 présente des valeurs légèrement plus élevées que le groupe 2.

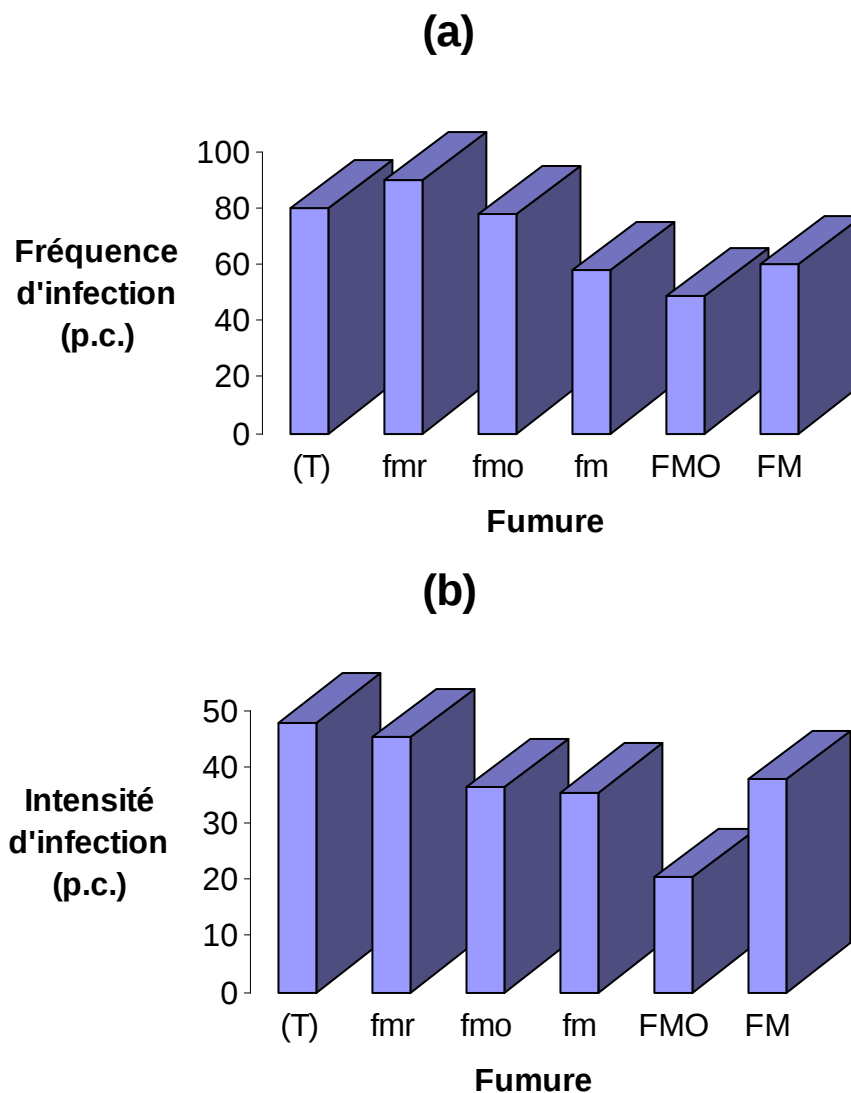


Figure 13- Fréquence (a) et intensité d'infection (b) des racines par le champignon mycorhizien chez le niébé

(T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille
 fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ;
 FMO= Fumure minérale forte+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte

Pour l'intensité d'infection les valeurs se répartissent en trois groupes :

- le groupe 1 comprenant le témoin et la fumure fmr,
- le groupe 2 constitué des fumures fmo, fm et FM,
- le groupe 3 formé de la fumure FMO.

Les moyennes les plus élevées s'observent dans le groupe 1 et la plus faible dans le groupe 3. Le groupe 2 occupe une position intermédiaire.

8.1.2.2. Mycorhization du sorgho

Culture au champ

Le tableau IX rapporte les taux d'infection des racines des plantes de sorgho cultivées au champ. Les données obtenues font apparaître des taux de colonisation des racines relativement bas.

Les valeurs moyennes des taux de colonisation ne sont pas significativement différentes tant pour la fréquence que l'intensité d'infection. Toutefois, les tendances qui se dégagent indiquent une légère supériorité du témoin par rapport aux autres fumures.

On note également que le taux de colonisation des racines dans la rotation sorgho-sorgho est légèrement plus élevé que celui de la rotation sorgho-niébé.

Culture en vases de végétation

Le tableau X rapporte les taux d'infection des racines des plantes cultivées en vases de végétation. Comme pour les cultures au champ les valeurs moyennes sont relativement faibles et ne sont pas significativement différentes.

Toutefois, les tendances qui se dégagent indiquent une légère supériorité du témoin et de la fumure fm par rapport aux autres fumures.

Tableau IX- Fréquence et intensité d'infection des racines de sorgho cultivé au champ dans les parcelles des rotations sorgho-sorgho (SS) et sorgho-niébé (SN).

Traitement	Fréquence (p.c.)			Intensité (p.c.)		
	SS	SN	Moyenne	SS	SN	Moyenne
Témoin	66	56	61,0 ns	24,5	31,2	27,9 ns
fmr	53	27	40,0 ns	17,5	6,0	11,8 ns
fmo	60	33	46,5 ns	20,2	7,0	13,5 ns
fm	53	30	41,5 ns	13,5	10,3	12,0 ns
FMO	45	55	50,0 ns	11,5	18,0	14,8 ns
FM	60	42	51,0 ns	7,8	13,3	10,6 ns
Moyenne	56	39,47	48,3	15,23	13,63	15,1
	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns = non significatif

(T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille ; fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ; FMO = Fumure minérale forte*+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte

Tableau X- Fréquence et intensité d'infection des racines de sorgho cultivé en vases de végétation dans les rotations sorgho-sorgho (SS) et sorgho-niébé (SN).

Traitement	Fréquence (p.c.)			Intensité (p.c.)		
	SS	SN	Moyenne	SS	SN	Moyenne
Témoin	37,5	32,5	35,0 ns	11,5	11,9	11,7 ns
fmr	15,0	12,5	13,7 ns	2,4	3,9	3,5 ns
fmo	30,0	10,0	20,0 ns	5,6	9,4	7,5 ns
fm	35,0	37,5	36,2 ns	9,9	12,3	11,1 ns
FMO	22,5	5,0	13,7 ns	1,5	6,4	3,9 ns
FM	17,5	12,5	15,0 ns	2,5	4,0	3,2 ns
Moyenne	26,2	18,3	22,3	5,5	7,9	6,7
	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns = non significatif

(T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille
fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ;
FMO = Fumure minérale forte*+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte

8.1.3.- Etude des corrélations entre les paramètres chimiques des sols, la nodulation et la mycorhization du niébé

8.1.3.1. Relations entre les caractéristiques des sols et la nodulation

Les relations entre les caractéristiques des sols et la nodulation sont présentées par les courbes de régression des figures 14, 15, 16 et 17.

L'analyse de la régression indique que le nombre de nodules est proportionnel à la teneur en carbone, azote et phosphore des sols. Les coefficients de corrélation (tableau XI) font apparaître une corrélation significative au seuil 5 p.c. pour le pH eau et non significative pour C, N et P.

8.1.3.2. Relations entre les caractéristiques des sols et la mycorhization du niébé.

Les courbes de régression des figures 18, 19, 20 et 21 illustrent les relations entre le taux de colonisation des plantes et les caractéristiques chimiques des sols. Il ressort de ces courbes que les taux de mycorhization sont inversement proportionnels aux teneurs en N, P et C.

La corrélation entre les teneurs de ces trois éléments et la mycorhization est significative au seuil 1 p.c. (tableau XI) et non significative pour le pH (coefficient de corrélation $r = 0,06$).

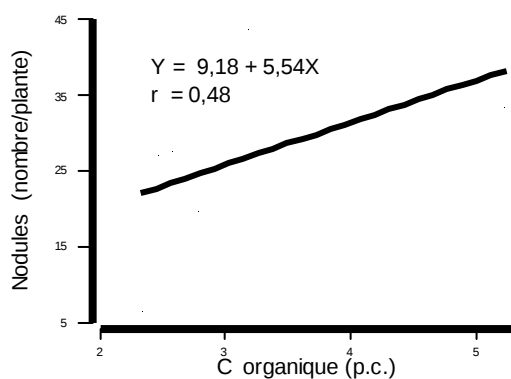


Figure 14- Relations entre le taux de nodulation et le carbone organique du sol chez le niébé

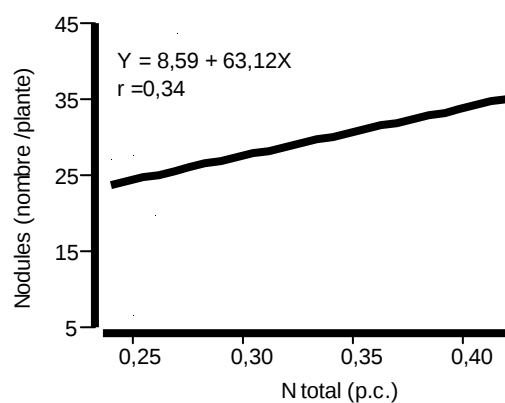


Figure 15- Relations entre le taux de nodulation et l'azote total du sol chez le niébé

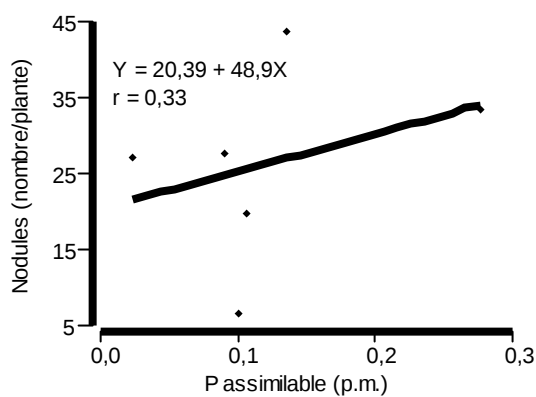


Figure 16- Relations entre le taux de nodulation et le phosphore assimilable du sol chez le niébé

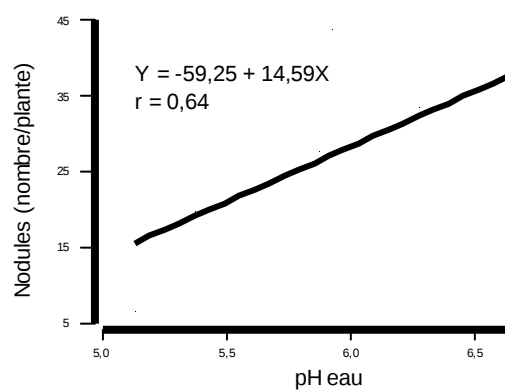


Figure 17- Relations entre le taux de nodulation et le pH eau chez le niébé

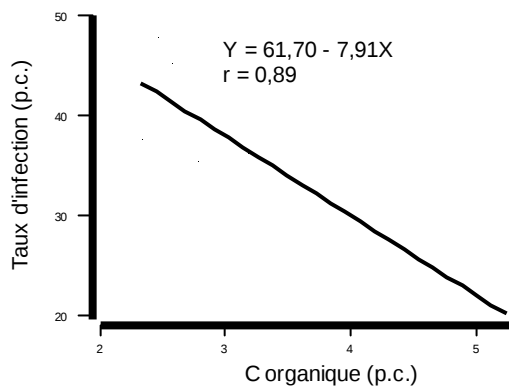


Figure 18- Relations entre le taux de mycorhization et le carbone organique de sol chez le niébé

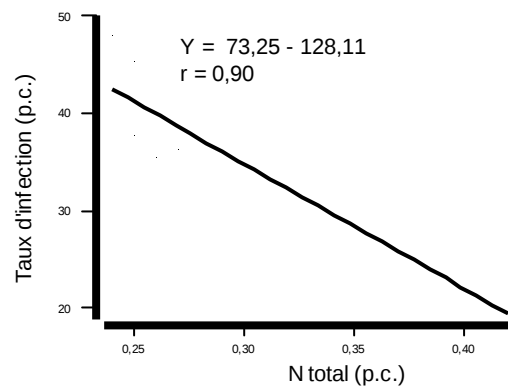


Figure 19- Relations entre le taux de mycorhization et l'azote total du sol chez le niébé

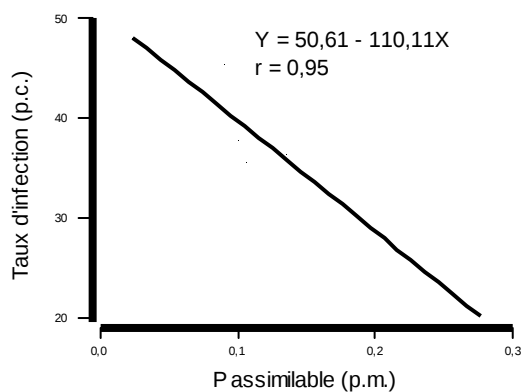


Figure 20- Relations entre le taux de mycorhization et le phosphore assimilable du sol chez le niébé

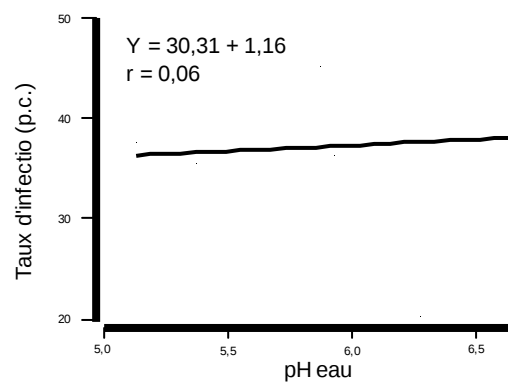


Figure 21- Relations entre le taux de mycorhization et le pH eau chez le niébé

Tableau XI– Coefficients de corrélation (r) entre les paramètres chimiques des sols, le nombre de nodules et l'intensité d'infection des racines de niébé cultivé en vases de végétation (moyenne de 2 répétitions)

	Nodules (nombre)		Taux d'infection	
	r	p	r	p
C	0,48	0,08	-0,89	0,01
N	0,34	0,10	-0,90	0,01
P	0,33	0,10	-0,95	0,01
pH	0,64	0,03	0,06	0,72

(au seuil 10%, $r = 0,49$; $dl = 10$)

8.2. INFLUENCE DES MODES DE GESTION DE LA FERTILITE DES SOLS SUR LEUR ACTIVITE BIOLOGIQUE

Les études ont été réalisées au cours des saisons 1995, 1996 et 1997 sur des sols prélevés pendant le développement des plantes.

8.2.1. Cinétique de dégagement de CO₂ des sols

Les figures 22 et 23 présentent la cinétique de dégagement de CO₂ dans les rotations sorgho-sorgho et sorgho-niébé.

L'examen des courbes montre, dans les deux rotations, que le dégagement du CO₂ se fait en 2 phases:

- une phase de dégagement intense de CO₂ allant du 1er jour au 7^{ème} jour et plus selon les fumures ;
- une phase de dégagement moins intense qui se situe après le 7ème jour.

Rotation sorgho-sorgho

Dans la rotation sorgho-sorgho, la courbe de la fumure FMO se détache de celles des autres fumures, montrant ainsi un niveau de respiration plus élevé durant toute la période d'incubation. Les courbes du témoin et de la fumure fmo sont confondues et placées en bas des autres. Les courbes des fumures fmr, fm et FM sont également confondues et occupent une position intermédiaire.

Rotation sorgho-niébé

Dans la rotation sorgho-niébé la courbe de la fumure FMO est bien distincte des autres courbes qui sont très proches l'une de l'autre.

Les quantités moyennes cumulées de CO₂ produit dans la rotation sorgho-niébé sont plus élevées que celles de la rotation sorgho-sorgho.

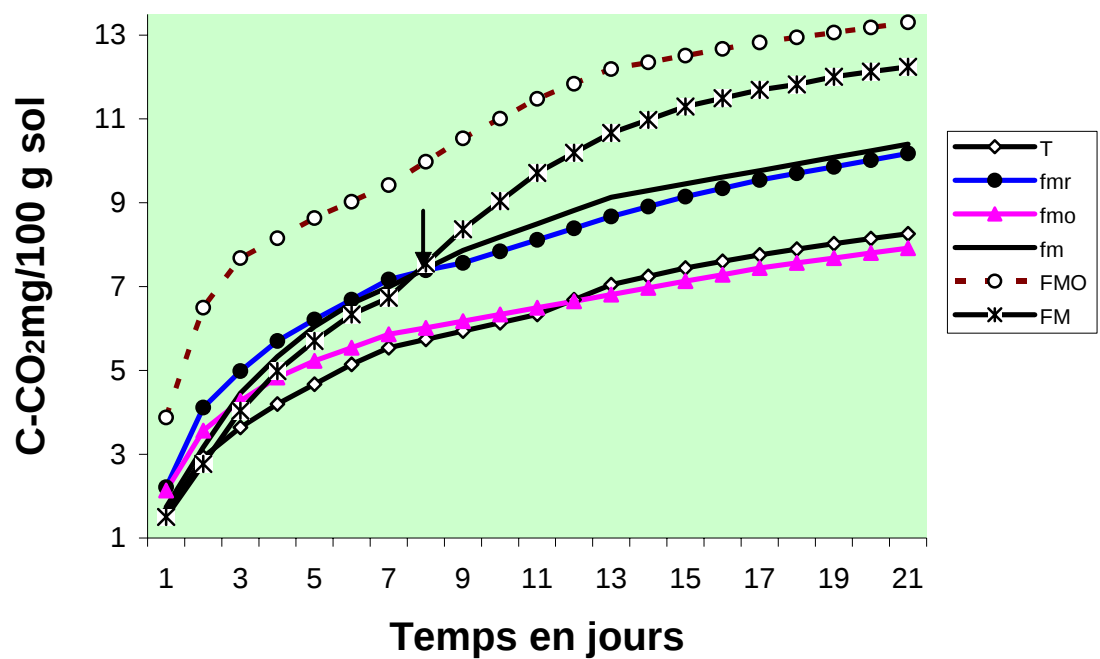


Figure 22- Courbes cumulatives du CO₂ dégagé dans la rotation sorgho-sorgho
 (T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille ; fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ; FMO = Fumure minérale forte*+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte

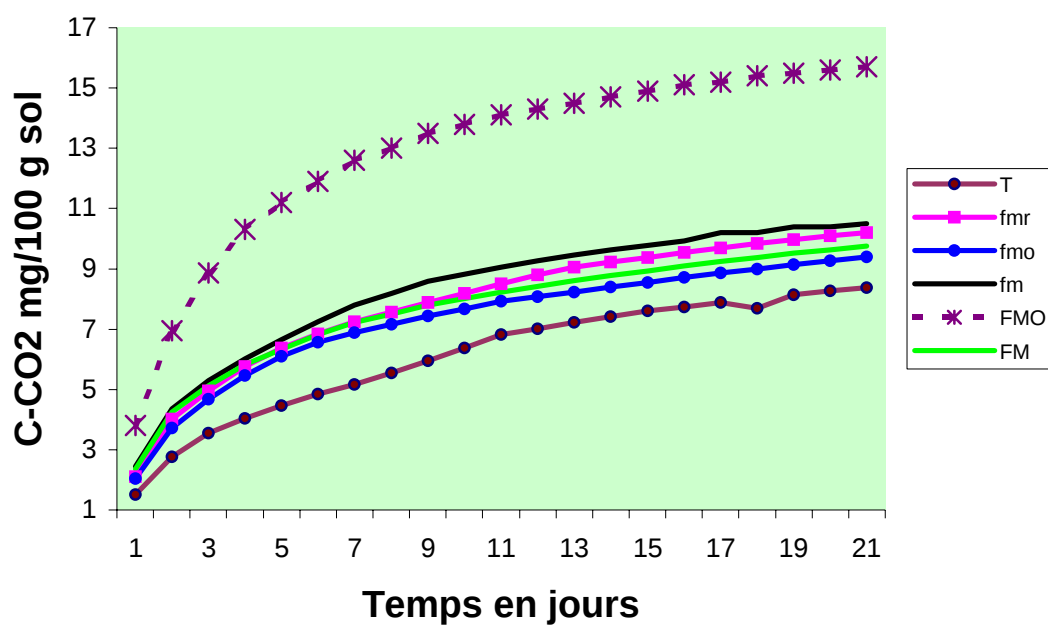


Figure 23- Courbes cumulatives du CO₂ dégagé dans la rotation sorgho-niébé
 (T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille ; fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ; FMO = Fumure minérale forte*+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte

8.2.2.- Intensité respiratoire des sols

Les valeurs moyennes cumulées des intensités respiratoires sont présentées par le tableau XII. L'analyse de variance indique des différences significatives entre les traitements.

Les données indiquent :

✓ pour la rotation sorgho-sorgho, que l'intensité respiratoire de la fumure FMO est plus importante que celle des autres fumures (écarts de 39,4 à 117 p.c.). Elle est suivie de fmo et fm. Le témoin, les fumures fmr et FM présentent les intensités respiratoires les plus faibles.

L'examen des valeurs moyennes permet de les classer en trois groupes d'homogénéité suivant :

- le groupe 1 comprenant la fumure FMO ;
- le groupe 2 composé des fumures fmo et fm ;
- le groupe 3 contenant le témoin, les fumures fmr et FM.

Les 3 groupes se classent dans l'ordre comme suit : FMO > fmo, fm > témoin, fmr et FM.

✓ pour la rotation sorgho-niébé, que les intensités respiratoires des fumures suivent des variations similaires que celles qui précèdent, avec cependant une légère différence dans le classement des groupes d'homogénéité qui se présente comme suit : FMO> fmr, fmo, fm, FM>témoin.

Tableau XII- Valeurs cumulatives de l'intensité respiratoire des sols après 21 jours d'incubation en mg C/100 g de sol (moyennes de 3 répétitions)

Rotation	(T)	fmr	fmo	fm	FMO	FM
Sorgho-sorgho	11,40a	12,87a	17,75b	17,53b	24,75c	12,32a
Sorgho-niébé	12,83a	16,94b	19,80b	16,94b	26,40c	17,31b

Sur la ligne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p= 5\%$) selon de le test de Tukey.

(T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille ; fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ; FMO = Fumure minérale forte+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte

8.2.2.1. Effets de la rotation et de la fumure organique sur l'intensité respiratoire des sols

L'analyse de variance des effets principaux de la rotation et de la fumure organique est présentée dans les annexes II-2-1 et II-2-2. L'examen des données montre que :

- ✓ Pour l'effet rotation, l'intensité respiratoire des sols de la rotation sorgho-niébé est légèrement plus élevée (11,38 p.c.) que celle de la rotation sorgho-sorgho. Cette différence reflète bien les résultats d'analyses des sols qui ont montré que la rotation sorgho-niébé présentait environ 10 pour cent de carbone organique de plus que la culture continue de sorgho ;
- ✓ Pour l'effet matière organique, les valeurs moyennes de l'intensité respiratoire des traitements avec apport de matière organique (fmr, fmo, FMO) sont significativement plus élevées que celles des traitements sans apport de matière organique (témoin, fm, FM) : elles passent de 18,51 à 13,77 mg C pour 100 g de sol dans la rotation sorgho-sorgho et de 21,05 à 15,69 mg C pour 100 g de sol dans la rotation sorgho-niébé.

8.2.2.2. Relations entre la respiration des sols et les caractéristiques chimiques

Le tableau XIII présente les relations entre la respiration des sols et les caractéristiques chimiques des sols.

Les résultats indiquent que, dans les deux rotations le carbone, l'azote et le phosphore sont positivement corrélés avec l'intensité respiratoire des sols ($p < 0,01$). Les coefficients de corrélation (r) varient de 0,71 à 0,95 pour les trois éléments et demeurent relativement faibles pour le pH, 0,04 et 0,23 respectivement dans les rotations sorgho-niébé et sorgho-sorgho.

Tableau XIII– Relations entre la respiration et les caractéristiques chimiques des sols (moyennes de 3 répétitions par traitement des coefficients de corrélation)

Rotation	P	C	N	pH eau
Sorgho-sorgho	0,86**	0,79**	0,81**	0,23
Sorgho-niébé	0,95**	0,71**	0,81**	0,04
R = 0,47 (p = 0,05) ; R = 0,59 (p = 0,01); dl = 16				

* et ** indiquent respectivement que les différences sont significatives aux seuils $p=0,05$ et $p=0,01$

(T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille ; fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ; FMO = Fumure minérale forte+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte

8.2.2.3. Carbone minéralisable du compartiment global (CMG)

Il a été déterminé selon la formule donnée dans la partie matériels et méthodes. Le choix du modèle de régression exponentielle se justifie par le fait qu'on admet que la minéralisation du carbone se fait suivant une courbe à décroissance exponentielle.

Le tableau XIV présente les valeurs moyennes des CMG pour les deux rotations. Ces valeurs indiquent :

- ✓ au niveau de la rotation sorgho-sorgho que le CMG de la fumure FMO est nettement supérieur à celui des autres fumures, suivi de fmr et fm. Le CMG de FM est le plus faible de tous ; il ne représente que 52 p.c. du témoin ;
- ✓ au niveau de la rotation sorgho-niébé le CMG le plus élevé s'observe dans FMO qui représente près de 2,5 fois celui du témoin.

Le témoin présente la valeur la plus faible.

8.2.3. Biomasse microbienne-C

La biomasse microbienne a été mesurée en 1997 sur les sols prélevés dans les deux rotations. Les résultats sont rassemblés dans le tableau XV.

L'analyse statistique est présentée dans les annexes II-2-3 et II-2-4. L'examen des valeurs moyennes indique des différences significatives et permet de distinguer les groupes d'homogénéité suivants :

- 1) Dans la rotation sorgho-sorgho :
 - le groupe 1 comprenant la fumure FMO ;
 - le groupe 2 composé des fumures fmr, fmo ;
 - le groupe 3 regroupant les fumures FM, fm et le témoin.

Les moyennes par groupe d'homogénéité se classent comme suit : groupe 1> groupe 2> groupe 3

2) Dans la rotation sorgho-niébé :

- le groupe 1 formé de la fumure FMO ;
- le groupe 2 contenant les fumures fmr, fm et FM ;
- le groupe 3 comprenant le témoin et fmo.

Les moyennes par groupe d'homogénéité se classent comme suit : groupe 1> groupe 2> groupe 3

Dans les deux rotations, on note une similitude au niveau des groupes pour les fumures FMO (groupe 1), fmr (groupe 2) et le témoin (groupe 3). Les trois autres traitements sont tantôt du groupe 2, tantôt du groupe 3.

8.2.3.1. Effets de la matière organique et de la rotation sur la biomasse-C

Les annexes II-2-5 et II-2-6 présentent l'analyse de variance des effets principaux de l'apport de matière organique et de la rotation et sur la biomasse-C. Pour l'effet matière organique on note, dans les deux rotations, une hausse de la biomasse-C due à l'apport de la matière organique. Cette hausse est significative dans la rotation sorgho-sorgho et non significative dans la rotation sorgho-niébé.

Dans le premier cas, les valeurs moyennes des biomasses sont de 11,43 mg de C pour 100 g de sol pour les fumures avec apport de matière organique (fmr, fmo et FMO) et seulement de 4,99 mg de C pour 100 g de sol pour les fumures sans apport de matière organique (témoin, fm, FM).

Dans le second cas la hausse n'est pas significative, les valeurs moyennes des biomasses des fumures avec matière organique sont de 8,78 mg de C pour 100 g de sol et de 7,04 mg de C pour 100 g de sol.

La différence observée entre les deux types de fumures (avec ou sans apport de matière organique) est due au carbone organique des sols ce qui reflète bien les valeurs moyennes obtenues pour les analyses des sols qui sont de 6,37 et 4,71 p.m. avec apport et sans apport de matière organique respectivement.

Tableau XIV- Carbone minéralisable du compartiment global (CMG)
dans les rotations sorgho-sorgho (SS) et sorgho-niébé (SN)

Fumure	Rotation Sorgho-sorgho		Rotation Sorgho-niébé	
	CMG	% témoin	CMG	% témoin
T	2,30	100	2,23	100
fmr	3,13	136	2,83	126
fmo	2,52	109	3,02	135
fm	2,69	116	2,93	131
FMO	4,38	190	5,34	239
FM	1,21	52	2,77	124
Moyenne	2,71	117	3,19	143

(T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille ; fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ; FMO = Fumure minérale forte+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte

Tableau XV- Valeurs moyennes de la biomasse microbienne (moyennes de 3 répétitions)

Rotation	Témoin	fmr	fmo	fm	FMO	FM
Sorgho-sorgho	5,91a	9,64b	10,87b	4,73a	13,80c	4,67a
Sorgho-niébé	5,68a	7,94b	6,63a	7,79b	11,77c	7,49b

Sur la ligne les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes (p= 5%)

(T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille ; fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ; FMO = Fumure minérale forte+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte

Pour l'effet rotation, on observe une hausse non significative de la biomasse-C quand on passe de la rotation sorgho-niébé à la rotation sorgho-sorgho. Les valeurs moyennes qui se dégagent sont de 8,40 et 7,88 mg de C pour 100 g de sol respectivement.

8.2.3.2. Relations entre la biomasse-C, les paramètres chimiques et la productivité des sols

1. Caractéristiques chimiques des sols

Les coefficients de corrélation entre la biomasse-C et les caractéristiques chimiques des sols sont donnés dans le tableau XVI.

Les résultats de ce tableau révèlent que le carbone, l'azote et le phosphore sont positivement corrélés avec la biomasse-C ($p < 0,01$) dans les 2 rotations. Pour le pH on ne note aucune valeur significative dans les deux cas : les coefficients de corrélation (r) sont de 0,63 et -0,07 respectivement dans les rotations sorgho-sorgho et sorgho-niébé.

2. Productivité des sols

La biomasse microbienne représente le compartiment actif de la matière organique, et la part importante du carbone stocké (2 à 4 p.c.) dans cette biomasse. Nous nous sommes intéressés à la relation entre la biomasse-C et la productivité des sols, dans le but de montrer son importance dans l'étude de la fertilité des sols.

Les figures 24 et 25 illustrent les résultats obtenus. Il se dégage de ces figures une similitude entre les variations de la biomasse-C et les rendements des plantes. Les deux figures montrent que les variations des deux composantes de rendements suivent la même la tendance à savoir que : plus la biomasse est élevée et plus le rendement est important.

Les coefficients de détermination (figures 26 et 27) sont hautement significatifs entre ces deux composantes ($R^2 > 92$ p.c.).

Tableau XVI– Coefficients de corrélation entre la biomasse-C et les paramètres chimiques des sols (P, C, N et pH eau) dans les rotations sorgho-sorgho et sorgho-niébé (moyennes de 3 répétitions)

Rotation	Sorgho-sorgho	Sorgho-niébé
P	0,70**	0,89**
C	0,80**	0,71**
N	0,88**	0,81**
pH eau	0,63**	-0,07

R = 0,47 (p = 0,05); R = 0,59 (p = 0,01); dl = 16; *(significatif à p = 0,05),
 **(significatif au seuil 0,01)

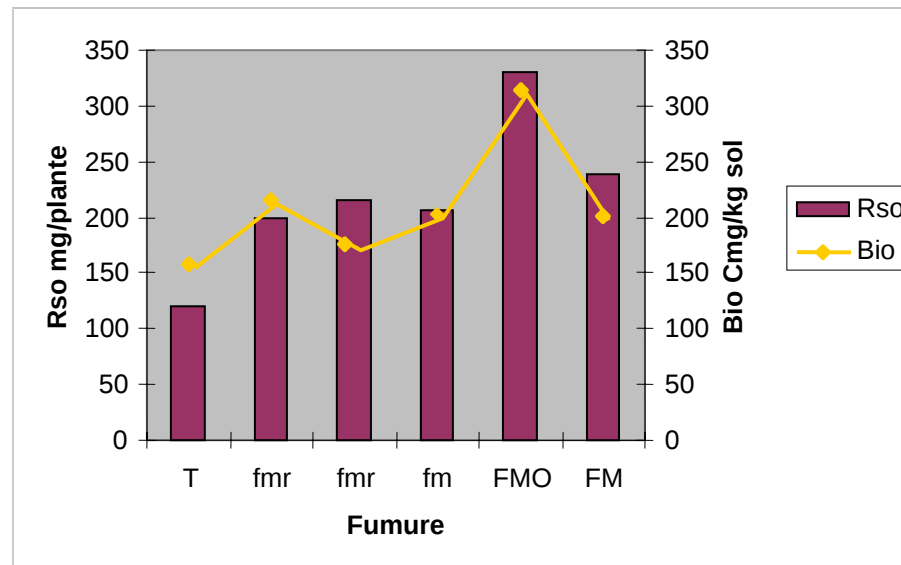


Figure 24 Evolution de la biomasse-C (C mg/kg de sol) et du poids paille du sorgho (mg/plante) cultivé en vases de végétation.

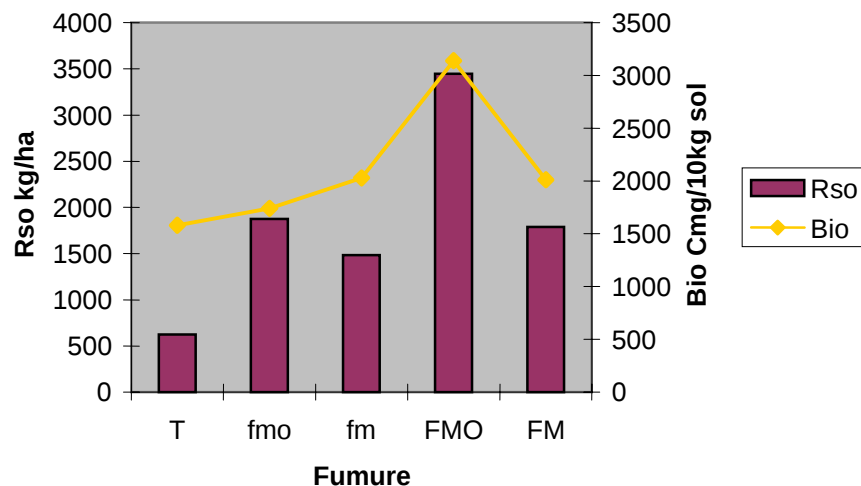


Figure 25 Biomasse-C (C mg/kg de sol) et poids grain du sorgho kg/ha) cultivé au champ.

(T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille ; fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ; FMO = Fumure minérale forte+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte.

Rso = rendement de sorgho ; Bio. = biomasse-C

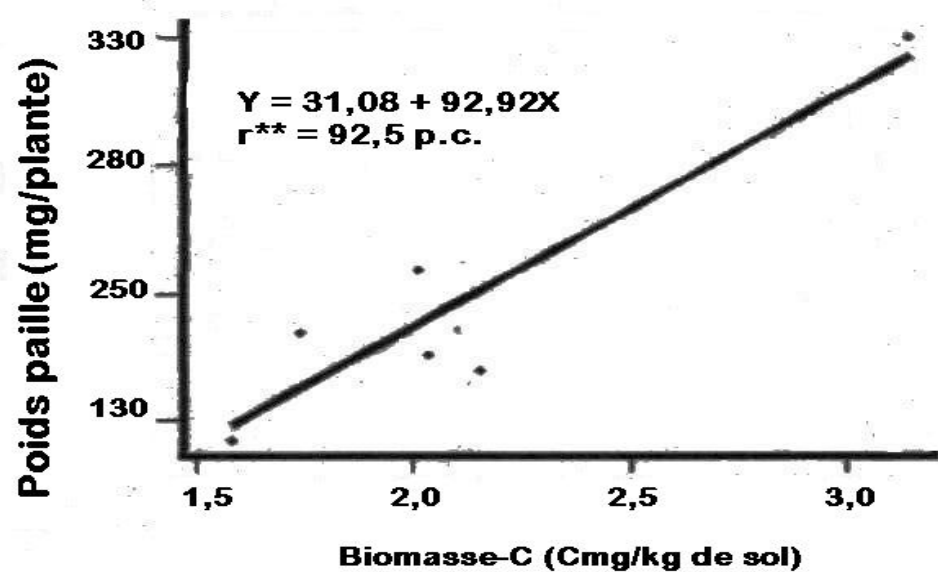


Figure 26 -Relations entre la biomasse-C et la production de paille de sorgho cultivé en vases de végétation.

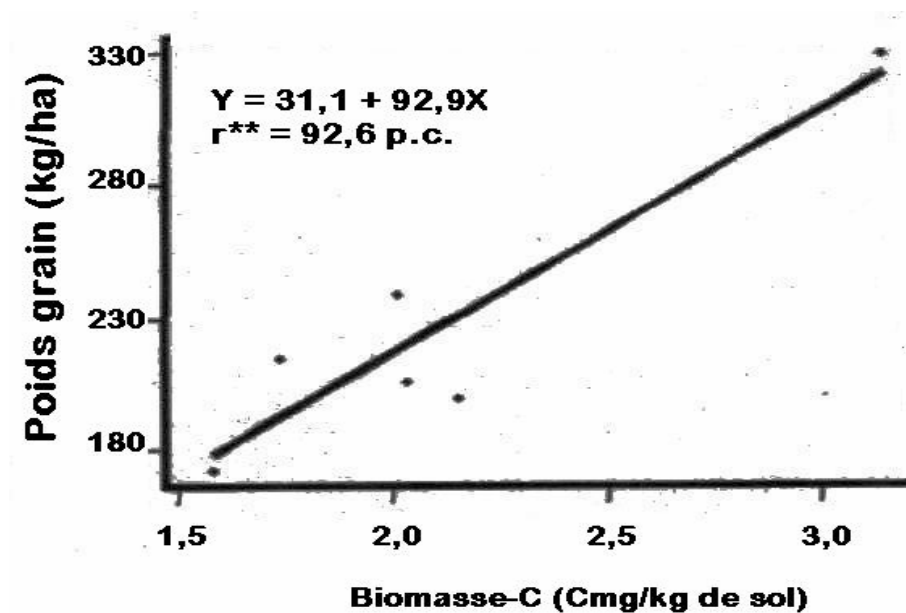


Figure 27- Relations entre la biomasse-C et la production de grain de sorgho cultivé au champ.

8.3. INFLUENCE DES MODES DE GESTION DE LA FERTILITE DES SOLS SUR L'ACTIVITE DES BACTERIES MINERALISANT L'AZOTE ET LE CARBONE

L'étude a été réalisée en 1997 sur les sols du dispositif expérimental de Saria. La rotation sorgho-sorgho a été considérée.

8.3.1. Minéralisation de l'azote : ammonification et nitrification

En rappel l'activité des germes a été estimée en fonction du temps d'apparition des germes dans les dilutions. Pour deux échantillons pris en un temps T, l'activité la plus élevée est celle de l'échantillon, pour lequel le temps de révélation des germes dans la plus faible dilution est minimal.

8.3.1.1. Ammonification

La figure 28 donne l'évolution journalière de l'activité des germes ammonifiants. Les résultats indiquent que l'ammonification démarre dès le premier jour d'incubation. L'activité journalière évolue différemment suivant les traitements :

- ✓ dans les fumures FMO et FM elle est maximale le premier jour d'incubation puis baisse les jours suivants ;
- ✓ dans la fumure fmo elle est minimale le premier jour d'incubation et maximale le troisième jour ;
- ✓ dans les fumures fmr et fm elle évolue en dents de scie.

Le temps nécessaire pour que tous les tubes, dans le même traitement soient positifs est 4 de jours pour la fumure fmo, 5 jours pour les fumures fmr et FM et 6 jours pour le témoin, les fumures fm et FMO.

Les germes ammonifiants sont abondants dans les sols utilisés, on dénombre des densités variant de 4 à 10^5 germes/g de sol selon les fumures en l'espace de 24 heures.

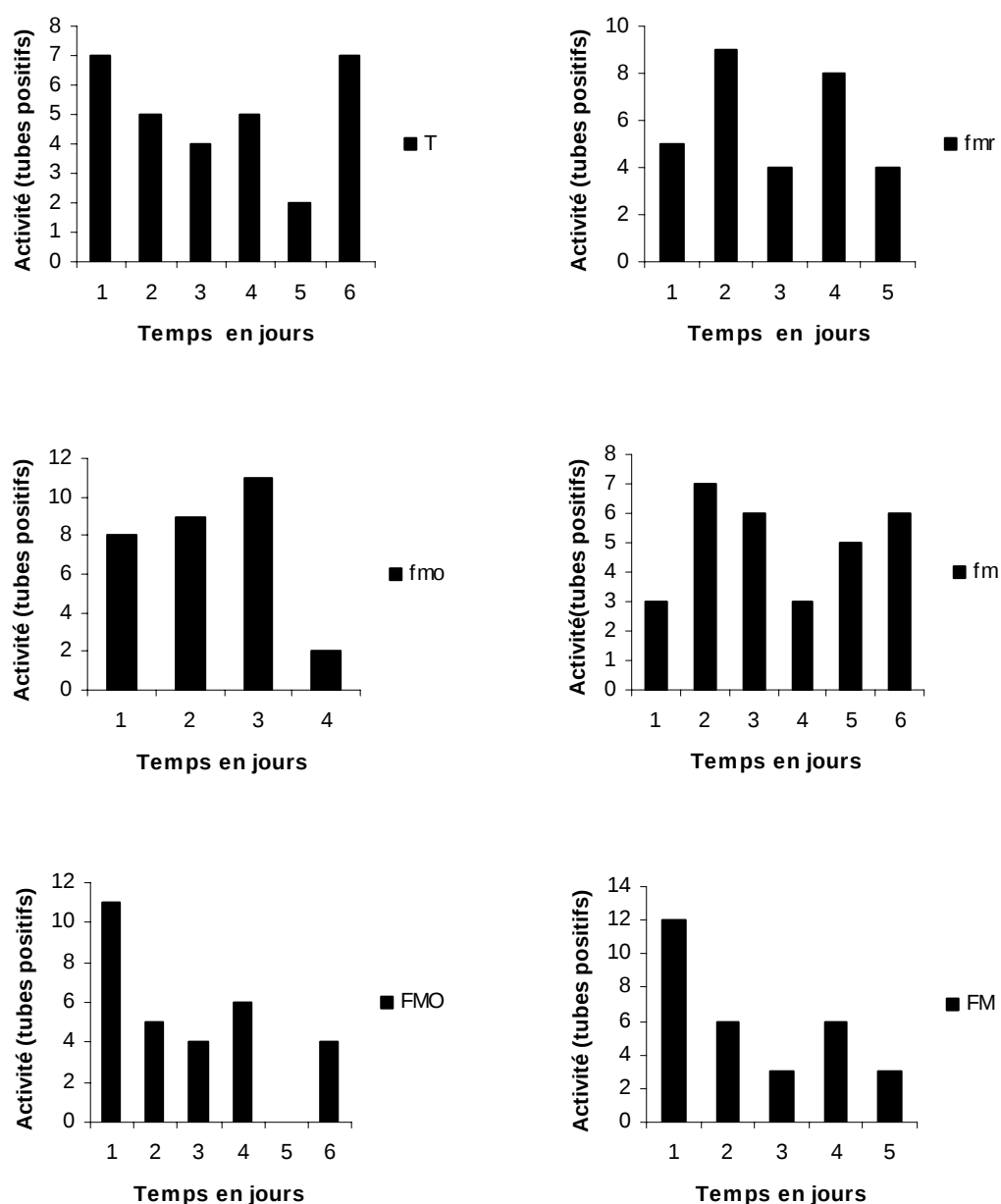


Figure 28 – Evolution de l'activité journalière des bactéries ammonifiantes en fonction de la durée d'incubation dans les différents traitements (exprimée en nombre de tubes positifs)

(T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille ; fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ; FMO = Fumure minérale forte+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte

L'évolution de l'activité journalière des germes a été examinée sur une période plus longue à partir des dilutions de sols 10^{-1} à 10^{-20} .

Les résultats sont consignés dans le tableau XVII. Il se dégage de ces résultats que l'ammonification démarre dès le premier jour d'incubation dans les fumures fmo et FMO et le deuxième jour dans le témoin et les fumures fm et FM.

Le temps le plus court pour révéler tous les tubes dans un traitement s'observe dans la fumure FMO (27 jours), puis suivent dans l'ordre la fumure fmo (32 jours), les fumures fm et FM (38 jours) et le témoin (supérieur à 38 jours).

8.3.1.2. Nitrification

La figure 29 présente la densité des germes nitrifiants.

Il se dégage de cette figure des densités des bactéries nitrifiantes relativement faibles. Elles ne sont que de quelques dizaines par gramme de sol, contrairement aux bactéries ammonifiantes qui se comptent par dizaines de millions.

La densité des germes du traitement FMO est la plus élevée, suivie de fmo et fmr ; celles du témoin et du traitement fm sont équivalentes et les plus faibles, tandis que le traitement FM présente une valeur intermédiaire.

Le nombre de germes dans les sols avec adjonction de matière organique (FMO, fmr et fmo), est supérieur à celui des fumures sans apport de matière organique (témoin, fm et FM).

Tableau XVII- Evolution de l'activité journalière des germes ammonifiants, en fonction du temps d'incubation et des traitements (dilutions de 10^{-1} à 10^{-20} ; 3 répétitions par dilution)

Temps (jours)	Nombre de tubes positifs				
	T	fmo	fm	FMO*	FM
1	0	3	0	3	0
2	3	3	3	3	6
3	3	3	3	3	0
4	4	4	5	3	6
5	0	0	1	3	2
7	0	3	2	3	1
9	0	0	0	0	0
11	3	2	1	0	1
12	0	1	3	3	2
14	3	2	0	3	0
16	0	2	2	0	0
18	3	1	1	0	3
21	1	0	3	0	2
24	2	0	0	0	1
27	0	0	0	3	0
30	0	2	0		0
32	0	1	0		0
38	0		3		3

* fumure pour laquelle le temps d'apparition des germes dans tous les tubes est minimal. Les chiffres 1, 2...6 indiquent une réaction positive ; le chiffre 0 indique une réaction négative ;

(T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille ; fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ; FMO = Fumure minérale forte+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte

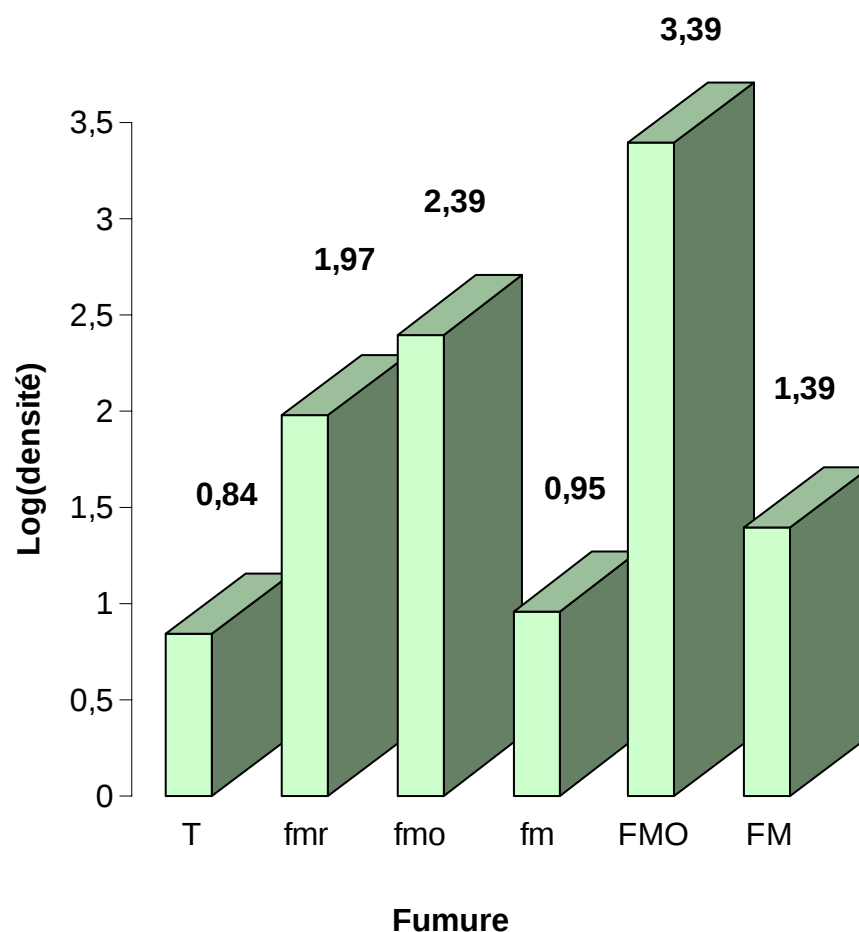


Figure 29 – Densité des germes nitrifiants révélés après 20 jours d'incubation à la température de 28°C des différents traitements (moyennes des mesures de deux années).

(T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille ; fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ; FMO = Fumure minérale forte+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte.

8.3.2. Minéralisation du carbone : hydrolyse de l'amidon

L'activité journalière des bactéries amylolytiques est illustrée par la figure 30. Les résultats indiquent que :

- ✚ l'activité des germes amylolytiques démarre après un temps de latence de 1 à 2 jours et se poursuit pendant 11 à 14 jours selon les traitements. L'évolution journalière de l'activité des germes diffère selon les sols et se fait en dents de scie.
La fumure fm présente le temps de transformation le plus court (11 jours) et le temps le plus long s'observe dans le témoin et FMO (14 jours) ;
- ✚ le processus de transformation de l'amidon se fait en deux phases distinctes d'activité de durée variable selon le traitement. Si l'on fait une moyenne des valeurs pour les six fumures on obtient une courbe d'évolution globale de l'activité des germes (figure 31) faisant ressortir deux pics au 3ème et au 10ème jour. Au douzième jour d'incubation la quasi-totalité des tubes (98,3 p.c.) sont positifs ;

La figure 32 présente l'évolution de la densité des germes en 72 heures.

L'examen des courbes de cette figure indique des densités de germes relativement faibles les premier et deuxième jours ; au troisième jour elles augmentent sensiblement et les écarts apparaissent entre les fumures. La fumure FMO présente la densité la plus élevée tandis que la plus faible s'observe dans le témoin.

Comme pour les ammonifiants, les germes amylolytiques sont présents en abondance dans tous les sols. Leur densité qui demeure très faible au démarrage de la réaction, (moins de 10 germes/g de sol) évolue rapidement pour atteindre des valeurs de l'ordre de $2,5 \times 10^3$ à $2,5 \times 10^5$ germes/g de sol dès le troisième jour d'incubation.

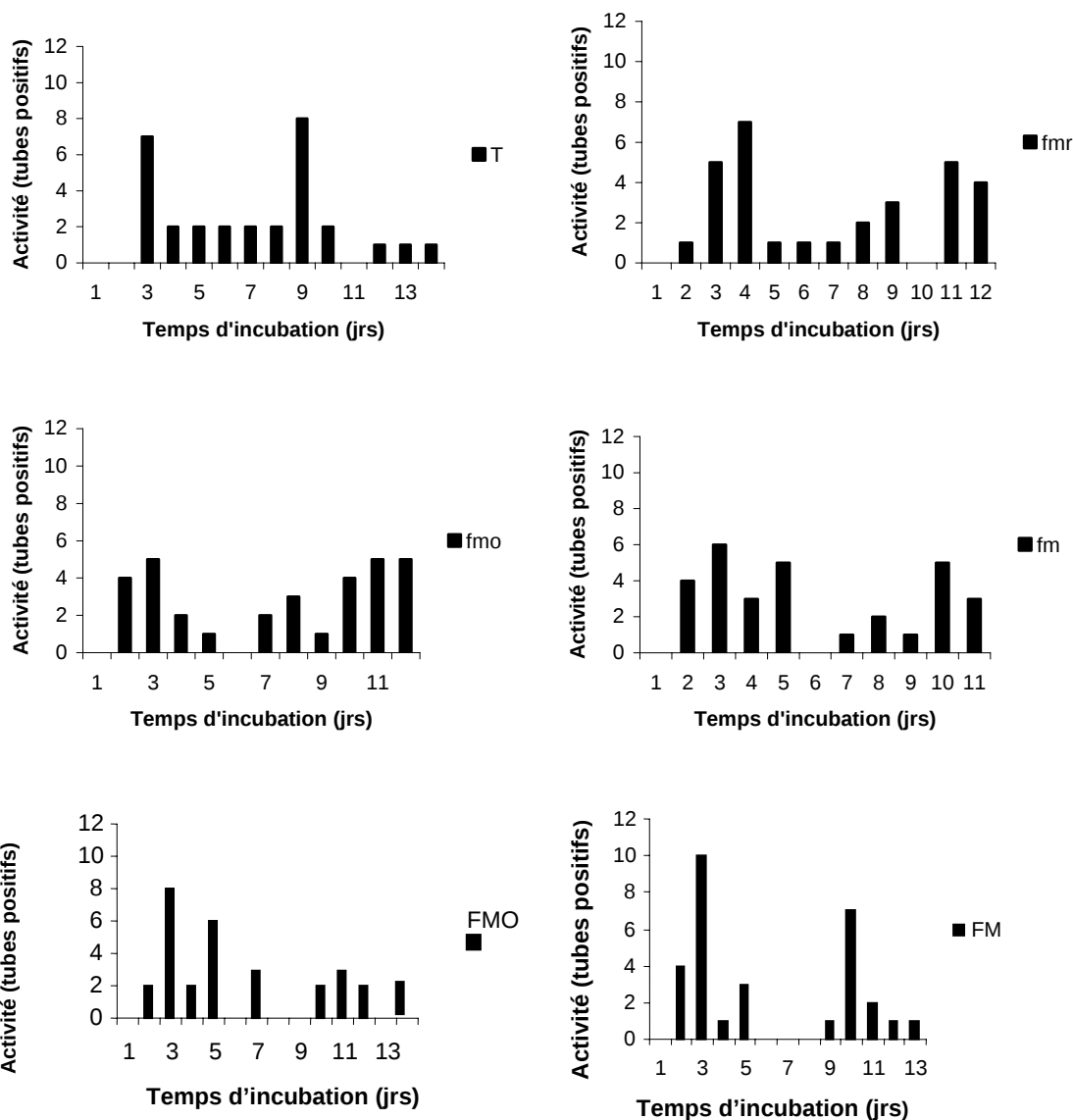


Figure 30- Evolution de l'activité journalière des bactéries amylolytiques en fonction de la durée d'incubation et des traitements (exprimée en nombre de tubes positifs).

(T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille ; fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ; FMO = Fumure minérale forte+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte

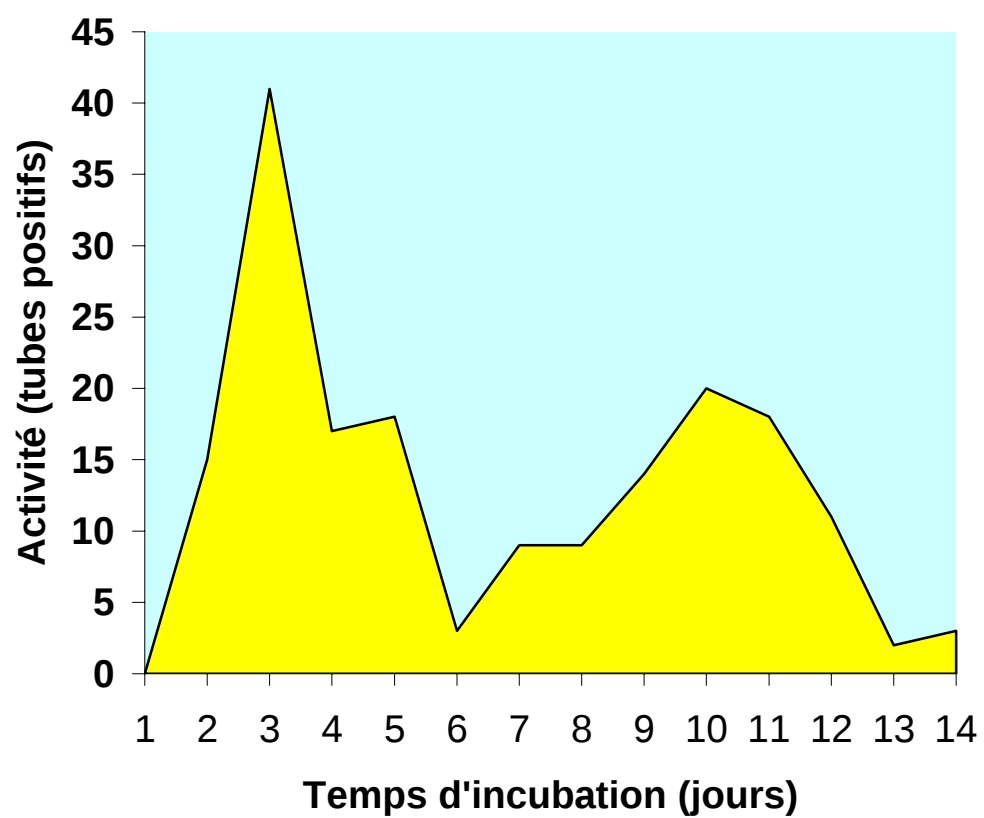


Figure 31- Evolution globale de l'activité des bactéries amylolytiques

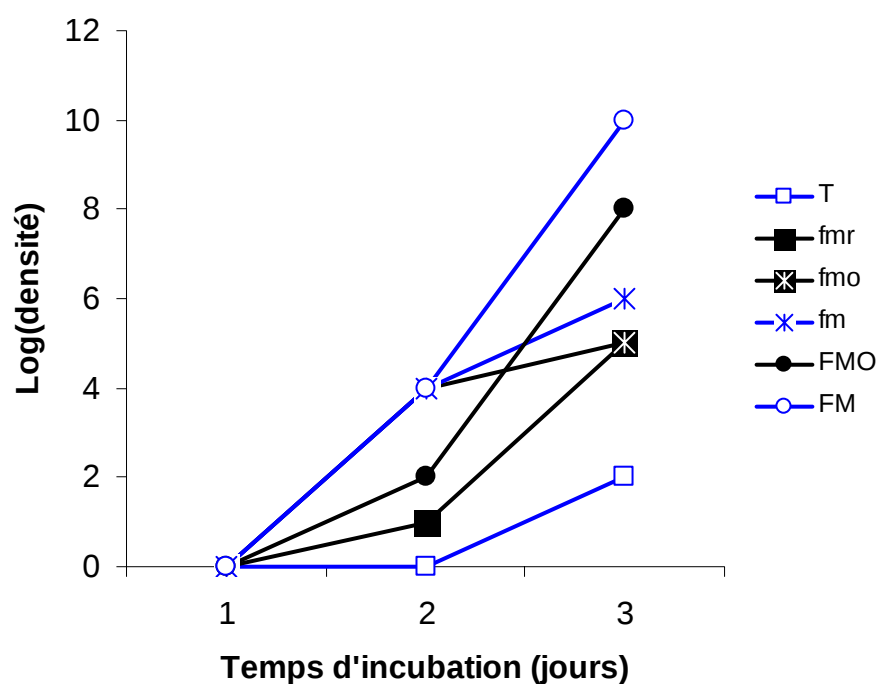


Figure 32- Evolution journalière des densités des germes hydrolysant l'amidon en fonction des traitements dans la rotation sorgho-niébé
 (T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille ; fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ; FMO = Fumure minérale forte+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte

Dans l'ensemble on retient que l'apport des fumures modifie l'évolution de l'activité journalière des germes qui peut au démarrage, être faible ou élevée. Toutefois elles n'affectent pas les densités des populations totales des germes.

8.4. EFFETS INDUITS DU TRAITEMENT THERMIQUE SUR LES PARAMETRES BIOLOGIQUES ET CHIMIQUES DU SOL : CONSEQUENCES SUR LA PRODUCTION DES PLANTES

L'étude a été réalisée sur différents sols soumis à l'influence de pratiques culturales ou de facteurs environnementaux divers. Il s'agit du sol de l'Essai Entretien de la Fertilité de Saria, ceux des parcs agroforestiers Saria, Saponé et Kamboinsé, et celui du parc botanique du CNRST à Ouagadougou.

8.4-1- Activité des bactéries nitrifiantes

La figure 33 présente les densités des germes nitrifiants en fonction du traitement thermique des sols de Kamboinsé et du parc du CNRST.

L'examen de cette figure montre que l'élévation à 120°C de la température du sol pendant 1 heure entraîne une réduction de la densité des germes nitrifiants.

Dans les sols non traités du parc du CNRST la densité des germes est de $2,5 \times 10^4$ par gramme de sol et $2,5 \times 10^2$ par gramme de sol dans les sols traités, soit 100 fois moins.

Au niveau de Kamboinsé on dénombre $2,5 \times 10^3$ germes par gramme de sol dans les sols non traités et $2,5 \times 10^2$ germes par gramme dans les sols traités, soit un rapport de 1 à 10.

8.4.2. Dégradation du maltose

La figure 34 présente la dégradation du maltose dans les sols de kamboinsé et du parc du CNRST.

Il se dégage de cette figure que le traitement thermique du sol induit une réduction de la quantité de substrat dégradé de 10 à 20 pour cent selon le sol.

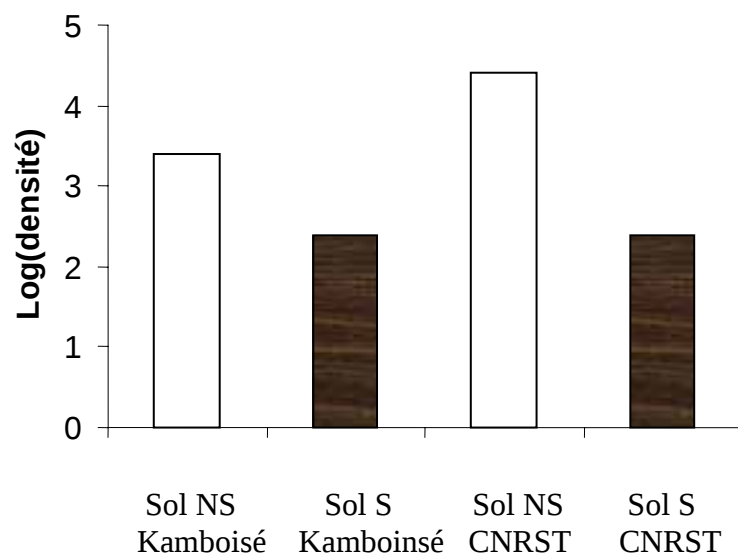


Figure 33 : Densité des germes nitrifiants dans les sols
NS = non stérilisé; S = stérilisé

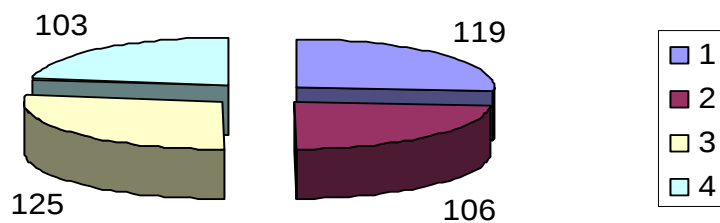


Figure 34 : Dégradation du maltose (en mg de C. pour 100 g de sol) dans les sols de Kamboisé et du CNRST.

1 = sol témoin de Kamboisé ; 2 = sol stérile de Kamboisé
3 = sol témoin du CNRST ; 4 = sol stérile du CNRST.

La quantité de CO₂ dégagé dans les sols non traités du parc de CNRST est de 125 mg C. pour 100 g de sol et 103mg C pour 100g de sol pour les sols traités. De même, au niveau des sols de Kamboinsé les quantités de CO₂ dégagé sont respectivement de 119 et 106 mg C pour 100 g de sol 103 mg C pour 100g de sol pour les sols non traités et traités.

L'effet du traitement thermique entraîne une réduction des quantités de substrat dégradé de l'ordre de 20 et 10 pour cent respectivement pour les sols de de Kamboinsé et du CNRST. Ce résultat indique que l'effet du traitement thermique sur l'activité des germes dépend de la nature du sol.

Dans les deux tests on constate que le fait de chauffer le sol à 120°C pendant une heure induit une stérilisation partielle du sol mais non une suppression totale de l'activité des bactéries (bactéries nitrifiantes et celles responsables de la réduction du maltose).

L'effet du traitement thermique du sol sur la densité des germes est temporaire, car dès que les conditions deviennent favorables leurs nombres augmentent considérablement pour atteindre, voire dépasser, ceux des sols témoins.

8.4-3- Effets du traitement thermique sur l'activité biologique des sols.

Les résultats des effets de traitement thermique sur l'activité biologique des sols sont regroupés dans les tableaux XVIII et XIX.

8.4.3.1. Sols de Saponé et de Saria (champ paysan)

Le tableau XVIII donne les résultats des variations des températures sur l'activité biologique des sols.

Tableau XVIII : Intensité respiratoire cumulée des sols après 21 jours d'incubation exprimée en mg C/100g de sol

Localités	Zones de prélèvement	Températures.			
		T	120°C	150°C	180°C
Saponé VP	SH		84,69	81,07	112,53
		77,33	(9,5)	(4,8)	(45,5)
	HH		38,31	48,65	66,62
		31,34	(22,2)	(55,2)	(112,5)
Saponé PB	SH		43,54	48,01	59,26
		37,41	(16,3)	(28,3)	(58,4)
	HH		34,37	36,05	41,88
		27,55	(24,7)	(30,8)	(52,0)
Saria	SH		35,81	38,99	46,43
		24,72	(44,8)	(57,7)	(87,8)
	HH		18,53	23,40	31,14
		14,64	(26,5)	(59,8)	(112,7)

SH : sous houppier ; HH : hors houppier,

Saponé VP = parcelle de Saponé à *V. paradoxa* ; Saponé PB = parcelle de Saponé à *P. biglobosa*.

Dans les colonnes les chiffres entre parenthèses indiquent les accroissements en pour cent par rapport au témoin.

Les valeurs moyennes révèlent que le traitement thermique à 120, 150 et 180°C induit un accroissement plus ou moins important de l'intensité respiratoire selon le sol. L'accroissement maximum (110 p.c.), par rapport au sol non soumis au traitement thermique, est atteint à 180°C et le minimum (5 p.c.) à 150°C au niveau des sols de Saponé.

Les résultats mettent également en évidence un impact positif de l'arbre sur l'intensité respiratoire. On note une nette supériorité de l'intensité respiratoire des sols de la zone sous houppier par rapport aux sols hors houppier au niveau des trois sites quelle que soit la température.

La comparaison des données indique que les intensités respiratoires les plus élevées sont celles de la zone sous houppier de la parcelle de Saponé à *V. paradoxa* ; elles varient de 75 mg de C pour 100 g de sol dans le sol non chauffé à 110 mg de C pour 100 g de sol dans le sol chauffé à 180°C.

Les sols hors houppier de Saria présentent les plus faibles intensités respiratoires qui sont de 15 mg pour 100 g de sol pour le témoin non chauffé et 30 mg de C pour 100 g de sol pour le sol chauffé à 180°C.

Les valeurs moyennes des intensités respiratoires des sols de la parcelle à *P. biglobosa* de Saponé sont intermédiaires à celles des deux autres parcelles. Les résultats font aussi apparaître une différence due à l'espèce d'arbre. En effet, l'examen des résultats au niveau du site de Saponé indique une supériorité des valeurs moyennes d'intensité respiratoire sur la parcelle à peuplement de *V. paradoxa* par rapport à celle à peuplement de *P. biglobosa*. La différence s'explique par les quantités de biomasse (feuilles, branches) qui tombent de chaque arbre tous les ans.

8.4.3.2. Sols de Kamboinsé et du parc du CNRST

Le tableau XIX présente l'effet du traitement thermique sur l'activité biologique des sols. L'examen des valeurs moyennes fait apparaître un effet significatif du traitement thermique du sol sur l'évolution de l'intensité respiratoire des sols du premier au dixième jour d'incubation ($p < 0,05$).

On note également que les valeurs cumulées de l'intensité respiratoire des sols traités ou non de Kamboinsé sont plus élevées que celles du parc du CNRST. La différence entre les deux sols s'explique par le fait que les sols du parc sont des sols n'ayant jamais été labourés tandis que ceux de Kamboinsé sont labourés chaque année.

8.4.4. Effets du traitement thermique sur les caractéristiques chimiques des sols

Les résultats d'analyses chimiques des sols sont présentés par le tableau XXI pour Saria et les figures 43, 44, 45 et 46 pour Saponé. L'examen des données met en évidence des différences suivant les sols.

8.4.4.1. Sols du dispositif expérimental de Saria

Les résultats sont consignés dans le tableau XX. L'examen des valeurs moyennes révèle :

✚ un accroissement du rapport C/N, dû à l'effet thermique, dans le témoin, la fumure minérale faible (fm) et la fumure minérale forte (FM).

La fumure organo-minérale forte (FMO) ne présente aucune différence entre les sols chauffé ou non ; la fumure minérale faible avec restitution de paille (fmr) et celle faible avec apport de matière organique (fmo) accusent au contraire une légère baisse

Tableau XIX : Valeurs cumulatives de l'intensité respiratoire des sols chauffés à 120°C (moyennes de 3 répétitions)

Lieu de prélèvement	C-CO ₂ (mg/100 g de sol)		
	2 jours	6 jours	10 jours
Kamboinsé :			
Témoin	6,27 a	14,63 a	23,06 a
Traité	24,53 b	47,85 b	56,28 b
Parc/CNRST :			
Témoin	7,37 a	14,99 a	21,89 a
Traité	21,89 b	39,96 b	47,41 b

Dans la colonne les valeurs portant la même lettre ne sont pas différentes significativement ($p < 0,05$)

Tableau XX- Influence du traitement thermique sur les paramètres chimiques du sol dans le dispositif expérimental de Saria (moyennes de 2 répétitions).

	C organ. (p.c)		N total (p.c.)		C/N		P assim. (p.m.)		pH eau	
FUMURE	Sol témoin	Sol traité	Sol témoin	Sol traité	Sol témoin	Sol traité	Sol témoin	Sol traité	Sol témoin	Sol traité
T	2,49	2,80	0,23	0,25	10,46	11,20	0,007	0,008	7,33	6,97
fmr	3,00	3,95	0,26	0,29	11,41	11,58	0,016	0,027	6,05	5,69
fmo	3,56	3,72	0,33	0,33	10,53	10,07	0,041	0,037	6,04	5,91
fm	2,31	2,68	0,28	0,24	8,19	11,00	0,036	0,035	5,38	5,37
FMO	8,33	8,66	0,75	0,77	11,06	11,13	0,093	0,093	6,91	6,80
FM	1,70	1,85	0,20	0,19	8,31	9,64	0,018	0,018	6,78	6,64
Valeurs moyennes	3,56	3,85	0,34	0,34	9,99	10,93	0,035	0,036	6,41	6,23

(T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille ;

fm = Fumure minérale faible ; fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ;

FMO= Fumure minérale forte+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte

✚ une légère augmentation de la teneur en carbone organique du sol traité par rapport au témoin ; la teneur moyenne générale en C passe de 3,59 à 3,84 pour mille. L'accroissement le plus élevé s'observe dans la fumure minérale faible (fm) et le plus bas dans la fumure organo-minérale faible (fmo) et la fumure minérale forte (FM) ;

✚ un pH des sols comparable pour toutes les fumures ; toutefois on peut relever une légère baisse du pH due au traitement thermique passant de 7,3 à 6,9 ;

✚ un taux d'azote total et de phosphore assimilable similaire pour les sols traités et les témoins non traités.

D'une manière générale, les tendances qui se dégagent après le traitement thermique, indiquent pour tous les sols étudiés une légère baisse du pH, tandis que l'azote total n'est pas affecté.

S'agissant de C organique et de P assimilable les résultats sont variables : ils augmentent ou diminuent selon les cas.

Les valeurs moyennes du pH et du carbone observées sous houppier sont supérieures à celles en terrain ouvert.

8.4.4.2. Sols de Saponé

Les figures 35, 36, 37 et 38 présentent les résultats d'analyses des sols. Les tendances qui se dégagent des courbes de ces figures indiquent :

✚ une baisse du pH du fait de l'élévation de la température ; cette baisse s'observe aussi bien sous houppier que hors houppier ;

✚ une légère baisse, dans la zone sous houppier, de la teneur en carbone organique du sol traité par rapport au témoin non traité. Hors houppier les valeurs pour les sols traités et non traités sont similaires.

Pour ces deux éléments les valeurs moyennes observées sous houppier sont supérieures à celles hors houppier.

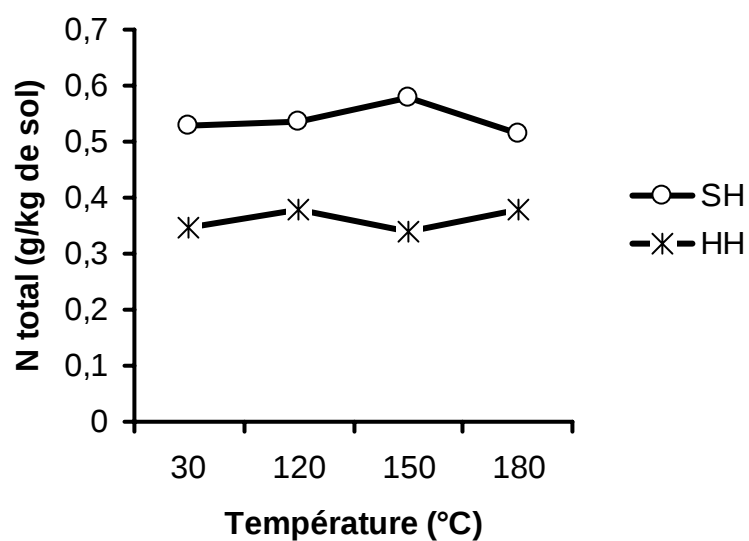


Figure 35- Effet intensité de chaleur sur l'azote total (parcelle de Saponé VP)
(SH = sous houppier ; HH = hors houppier)

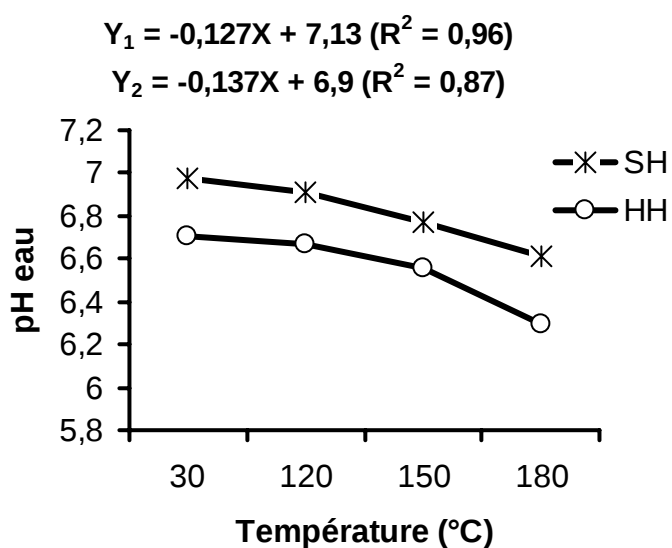


Figure 36 - Effet intensité de chaleur sur le pH eau (parcelle de Saponé VP)
(SH = sous houppier ; HH = hors houppier)

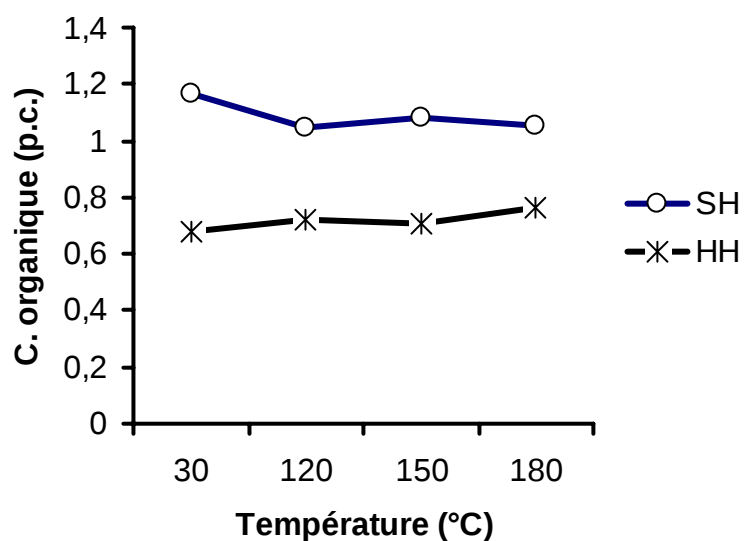


Figure 37- Effet intensité de chaleur sur le carbone (parcelle de Saponé VP).
(SH = sous houppier ; HH = hors houppier)

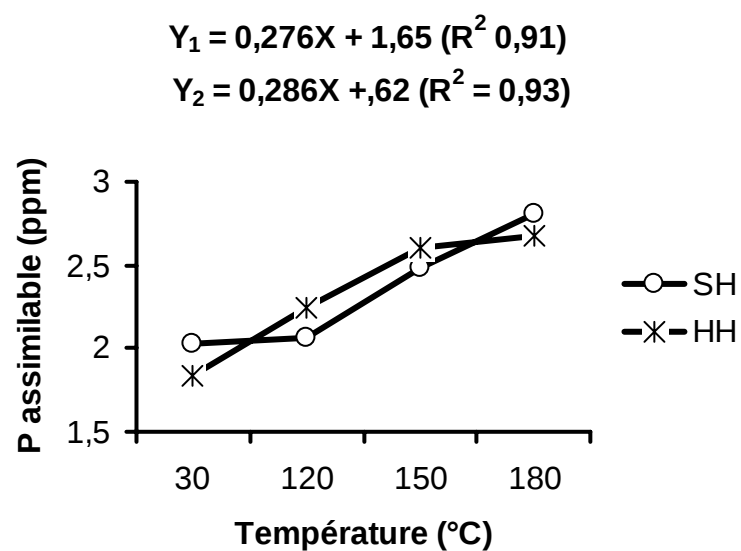


Figure 38 – Effet intensité de chaleur sur P assimilable (parcelle de Saponé VP).
(SH = sous houppier ; HH = hors houppier)

- une croissance linéaire de la teneur en P assimilable en fonction de la température. Les équations de régression et les coefficients de détermination y relatifs sont les suivants :

$$Y_1 = 0,276X + 1,65 \quad (R^2 = 0,91)$$

$$Y_2 = 0,276X + 1,62 \quad (R^2 = 0,91)$$

Les valeurs moyennes observées sous houppier sont comparables à celles des sols hors houppier.

- une teneur en azote comparable au niveau des deux zones.

8.4.5. Effets du traitement thermique du sol sur la biomasse des plantes

8.4.5.1. Sols du dispositif expérimental de Saria

Plante de sorgho

Les biomasses des plantes de sorgho sont données par le tableau XXI. L'examen des moyennes montre un accroissement des rendements dû au traitement thermique, et ce, quel que soit le traitement considéré. L'accroissement de la biomasse totale le plus faible s'observe dans la fumure minérale forte (3 p.c.) et le plus élevé dans la fumure minérale faible (336 p.c.)

Les fumures fmo et fmr présentent des valeurs intermédiaires.

Plante de niébé

Le tableau XXII rapporte les biomasses des plantes de niébé. L'examen des biomasses moyennes montre un accroissement des rendements dû au traitement thermique. L'accroissement de biomasse totale le plus faible est obtenu dans la fumure organo-minérale faible (3 p.c.) et le plus élevé dans la fumure minérale faible avec restitution de paille (70 p.c.). Les autres fumures présentent des valeurs moyennes intermédiaires ;

Tableau XXI- Influence du traitement thermique du sol sur la biomasse des plantes de sorgho dans le dispositif expérimental de Saria (moyennes de 2 répétitions)

Fumure	Poids matière sèche (mg/plante)						
	Partie aérienne		Racines		Total		
	Témoin	Traité	Témoin	Traité	Témoin	Traité	ITT(%)
(T)	72	116	38	55	116	148	28
fmr	187	313	198	541	367	832	127
fmo	141	252	85	280	240	519	116
fm	135	411	80	387	175	764	336
FMO	162	303	121	698	273	1008	269
FM	197	304	231	164	381	392	3
Moyenne	146	283	126	355	259	355	137

ITT (incidence du traitement thermique) = $100 \times (\text{traité-témoin}) / \text{témoin}$

T = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille ; fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ; FMO= Fumure minérale forte+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte

Tableau XXII: Influence du traitement thermique des sols sur la biomasse des plantes de niébé dans le dispositif expérimental de Saria (moyennes de 6 répétitions).

Traitement	Poids matière sèche (mg/plante)						
	Partie aérienne		Racines		Total		
	Témoin	Traité	Témoin	Traité	Témoin	Traité	ITT(p.c.)
T	499a	572a	148a	278ab	647a	850a	31
fmr	714ab	1326bc	190ab	207ab	904ab	1533cd	70
fmo	1450cd	1456cd	258ab	307b	1708de	1764de	3
fm	835ab	1488cde	222ab	245ab	1056ab	1734de	64
FMO	1597de	1909e	147a	297b	1744de	2206f	26
FM	1062bc	1744dc	204ab	254ab	1265bc	1998ef	60
Moyenne	1026	1416	195	265	1221	1681	38

ITT (incidence du traitement thermique) = $100 \times (\text{traité-témoin}) / \text{témoin}$.

Sur la ligne les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes (Duncan Multiple range, 5 p.c.)

(T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible avec restitution de paille ; fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ; FMO= Fumure minérale forte+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte

L'étude montre un effet induit du traitement thermique sur l'accroissement de la biomasse totale plus important chez le sorgho (137 p.c.) que chez le niébé (38 p.c.). L'accroissement dans les deux cas porte beaucoup plus sur l'augmentation du poids des racines que de celui de la partie aérienne.

8.4.5.2. Sols de Saponé et de Saria

Les figures 39, 40 et 41 illustrent l'effet des variations des températures sur la production du sorgho.

L'examen des courbes des trois figures fait apparaître une évolution des rendements suivant le site. On note une incidence positive du traitement thermique sur la production du sorgho, dans les parcelles de Saponé à peuplement de *V. paradoxa*, aussi bien sous houppier que hors houppier. L'incidence est d'autant plus importante que la température est élevée.

Dans les parcelles de Saria à peuplement de *V. paradoxa*, l'élévation de la température du sol entraîne une baisse de la biomasse, tant sous houppier que hors houppier.

Dans les parcelles de Saponé à peuplement de *P. biglobosa* seul le sol traité à 120°C induit un accroissement du rendement comparativement au témoin non traité. Les courbes de rendements sous houpriers sont similaires à celles hors houppier.

8.4.5.3 Sols de Kamboinsé et du parc du CNRST

Plante de sorgho

Le tableau XXIII présente les biomasses des plantes de sorgho.

L'examen des valeurs indique une supériorité des rendements des plantes cultivées sur les sols soumis au traitement thermique par rapport à ceux des sols témoins.

Tableau XXIII: Rendement des plantes de sorgho dans les sols de Kamboinsé (KBS) et le parc du CNRST (valeurs moyennes de 6 répétitions)

Sols	Poids frais (mg)			Poids sec (mg)		
	p.aérien	racines	total	p.aérien	racines	Total
KBS témoin	383 a	72 a	455 a	63 a	21 a	84 a
KBS stérile	1679 b	326 b	2005 b	261 b	88 b	350 b
CNRST témoin	455 a	100 a	556 a	125 a	33 a	159 a
CNRST stérile	784 a	195 a b	979 a	161 a	51 a	213 a

Dans chaque colonne les nombres suivis de la même lettre ne sont significativement différents au seuil $p=0,05$.

Les valeurs moyennes des rendements font apparaître un accroissement significatif pour les sols de Kamboinsé et non significatif pour ceux du parc CNRST ; les taux d'accroissement sont de 315 et 34 pour cent pour les sols de Kamboinsé et du CNRST respectivement ;

Plante de niébé

Les biomasses des plantes de niébé sont données par le tableau XXIV.

Ces résultats indiquent la même tendance que celle qu'on observe chez le sorgho, toutefois les différences observées ne sont pas significatives. Les taux d'accroissement sont de 64 et 51 pour cent respectivement pour les sols de Kamboinsé et ceux du parc CNRST.

On note également une réduction significative du nombre de nodules due à l'effet thermique du sol sur les deux sites.

8.4.6.- Effets du traitement thermique du sol sur la teneur en P et N du sorgho

Le tableau XXV présente les teneurs en N et P des plantes. Les résultats montrent un effet global hautement significatif du traitement thermique sur la teneur en N et P des plantes.

Pour l'azote les accroissements varient de 60 à 170 pour cent, tandis que pour le phosphore la variation est de 30 à 80 pour cent. Le traitement thermique favorise la fumure minérale faible (fm) et le témoin pour l'assimilation de N comparativement aux autres fumures.

Pour le phosphore la meilleure assimilation a lieu dans la fumure minérale faible avec restitution de paille (fmr).

Tableau XXIV: Rendement des plantes de niébé dans les sols de Kamboinsé (KBS) et le parc du CNRST (valeurs moyennes de 6 répétitions).

Sols	Poids frais (mg)			Poids sec (mg)			Nodules (nombre)
	p.aérien	racines	total	p.aérien	racines	total	
KBS témoin	1708 a	245 a	1952 a	266 a	51 a	317 a	14,41 a
KBS stérile	2607 a	375 a	2980 a	444 a	78 a	522 a	5,61 b
CNRST témoin	1980 a	256 a	2236 a	285 a	55 a	340 a	13,50 a
CNRST stérile	2294 a	307 a	2601 a	428 a	84 a	513 a	5,47 b

Dans chaque colonne les nombres suivis de la même lettre ne sont significativement différents au seuil $p=0,05$.

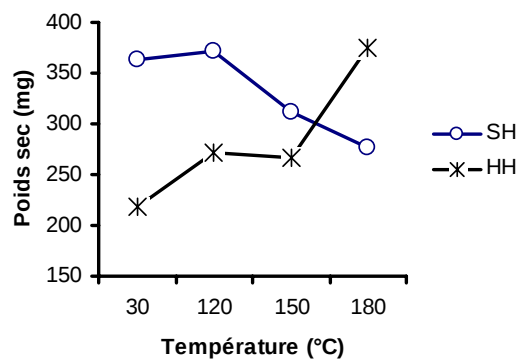


Figure 39- Rendement du sorgho à Saria (peuplement de *V. paradoxa*)

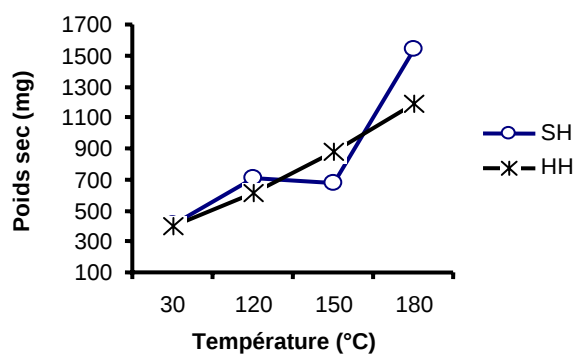


Figure 40- Rendement du sorgho à Saponé (peuplement de *V. paradoxa*)

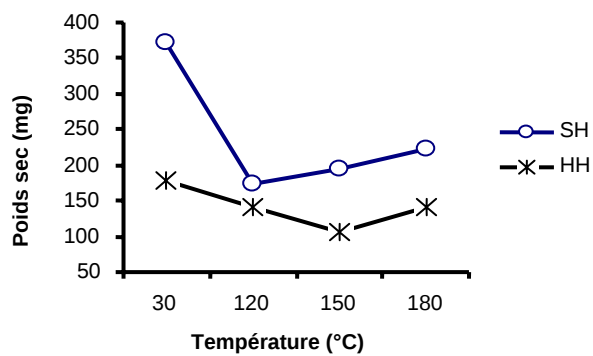


Figure 41- Rendement du sorgho à Saponé (peuplement de *P. biglobosa*)
(SH : sous houppier, HH : hors houppier)

Tableau XXV- Influence du traitement du sol sur la teneur en N et P des plantes de sorgho (valeurs moyennes de 2 répétitions).

Traitement	N (p.c.)		P (p.m.)	
	Témoin	Traité	Témoin	Traité
(T)	1,02	2,75 (169)	3,46	4,56 (31)
fmr	1,31	2,12 (61)	2,73	4,95 (81)
fmo	1,39	2,46 (76)	2,98	4,78 (60)
fm	0,96	2,62 (172)	2,74	4,53 (65)
FMO	0,87	2,09 (140)	2,96	4,74 (60)
FM	1,37	2,40 (75)	2,88	3,98 (38)
Moyennes	1,15	2,40**	2,95	4,59**

Dans les colonnes les chiffres entre parenthèses correspondent au taux d'accroissement en pour cent par rapport au témoin

(T) = Témoin sans engrais ; fmr = Fumure minérale faible* avec restitution de paille ;
fmo = Fumure minérale faible+5t/ha/2ans de fumier ; fm = Fumure minérale faible ;
FMO= Fumure minérale forte*+40t/ha/2ans de fumier ; FM = Fumure minérale forte

CHAPITRE IX : DISCUSSION

❑ INCIDENCE DES MODES DE GESTION DE LA FERTILITE DES SOLS SUR LEUR POTENTIEL NODULANT ET MYCORHIZOGENE ;

✓ Production des nodules:

Le nombre et le poids des nodules formés par plante augmentent avec l'apport de la matière organique (MO) à faible et à forte doses.

Ce résultat met en exergue un effet stimulateur de la matière organique sur la formation des nodules, effet dû au rôle que celle-ci joue sur l'enrichissement du sol en éléments minéraux du sol, en l'occurrence le phosphore assimilable. Les analyses des sols ont montré que les sols avec adjonction de fumures organo-minérales ont une teneur en phosphore plus élevée que celle des sols sans apport. La fumure FMO a une teneur en P dix fois supérieure à celle du témoin.

De nombreux auteurs ont rapporté des résultats similaires qui indiquent que les doses élevées de phosphore entraînent une augmentation du nombre et du poids des nodules (Jones *et al.*, 1977 ; Singleton *et al.*, 1985 ; Asimi *et al.*, 2000b).

Tewari (1965) a également observé, chez le niébé, un effet positif de la matière organique sur la production des nodules, toutefois il a noté que l'effet portait plutôt sur le nombre de nodules efficients que sur le nombre total. Cette observation est intéressante étant donné que le taux de fixation d'azote par les plantes est étroitement lié au nombre de nodules efficients. Si l'on parvient à accroître le nombre de nodules efficients on améliore du même coup la fixation biologique de l'azote.

La teneur en azote des sols est positivement corrélée avec le nombre de nodules ($r = 0,62$). Ce résultat est contraire à ce qu'on observe d'habitude, à savoir que l'azote

induit un effet dépressif sur la nodulation. Il faut cependant noter que l'azote minéral joue un double rôle sur la production des nodules :

- 1) à fortes doses il induit un effet dépressif sur la nodulation (Dreyfus et Dommergues, 1980 ; Picasso et *al.*, 1984) ;
- 2) à faibles doses il joue un rôle de stater en favorisant l'initiation de la formation des nodules (Picasso et *al.*, 1984).

Les résultats de cette étude montrent que les doses d'azote appliquées dans le dispositif expérimental de Saria conviennent à une bonne nodulation et peuvent être recommandées dans la pratique d'une agriculture durable.

L'étude a également révélé, dans les cultures au champ, que le poids sec total des nodules par plante et le poids sec par nodule dans la fumure FMO sont inférieurs à ceux des autres fumures. Ce résultat s'explique par le fait que la fumure FMO permet de renouveler la formation des nodules tout au long du développement de la plante ; ceci a pour avantage de prolonger le temps de fixation d'azote. Ces nodules sont de petite taille, ce qui explique que leur poids sec soit faible.

✓ Mycorhization:

L'étude a révélé que le taux de colonisation des racines baisse quand les teneurs en P augmentent. Ce résultat est en accord avec ceux des travaux de Asimi et *al.* (1980), Bâ et *al.*; Guissou et *al.* (1998).

Ezawa et *al.* (2000) ont également obtenu une réduction du taux de mycorhization du soja en apportant 400 tonnes par hectare et par an de fumier ; ils ont attribué cette réduction à une concentration plus élevée en phosphore.

L'étude a aussi montré une incidence négative du carbone et de l'azote sur la mycorhization des plantes. Toutefois, il est à relever que leur teneur n'est pas dissociable avec celle du phosphore et les effets observés sont les effets directs du phosphore.

La baisse du taux de mycorhization des plantes due à la fumure FMO n'a pas provoqué une chute du rendement des plantes. Ce résultat confirme ceux des travaux de Ellis et *al.* (1992) qui ont montré que l'apport de la matière organique entraîne une baisse du taux de mycorhization, mais que cette baisse n'affecte pas les rendements des cultures.

Il a été établi depuis longtemps que les apports importants d'engrais phosphatés solubles réduisent le taux de mycorhization des plantes, (Asimi et *al.*, 1980 ; Jacquelinet-Jeanmougin et *al.*, 1986), toutefois l'incidence de cette réduction sur le rendement des cultures demeure secondaire par rapport à celle du phosphore. L'impact de la fumure FMO sur le rendement des plantes est supérieur à celui des autres fumures malgré son faible taux de mycorhization.

La fréquence d'infection des racines des plantes de la culture continue de sorgho est significativement plus élevée que celle de la rotation sorgho-niébé. Ce résultat indique que le sorgho est un bon précédent cultural pour le potentiel mycorhizogène du sol. Ce résultat s'explique par le fait que les racines du sorgho améliorent la texture du sol mieux que les racines du niébé.

L'effet des fumures, tant minérales qu'organo-minérales sur la mycorhization, comparé à ceux des fongicides est cependant très limité. En effet, alors que les fongicides éliminent la flore fongique (Plenchette et *al.*, 1983 ; Jackobsen, 1986 ; Gianinazzi et *al.*, 1995), on note que les Mycorhizes restent encore fonctionnelles après plus de 50 années d'application des fumures dans le dispositif de Saria.

Les enseignements que l'on peut tirer de cette étude montrent que l'apport de la fumure organo-minérale, à faibles et à fortes doses, améliore le potentiel nodulant du sol et qu'à l'opposé l'emploi de la fumure organo-minérale forte réduit son potentiel mycorhizogène. Ainsi donc, dans la pratique, il faut éviter d'appliquer des fumures contenant de fortes doses fortes de phosphore si l'on veut préserver un bon potentiel mycorhizogène du sol. C'est une mesure nécessaire pour les espèces végétales à dépendance mycorhizogène stricte comme la carotte et le maïs sucré qui ont une forte dépendance mycorhizienne (DM).

❑ INFLUENCE DES MODES DE GESTION DE LA FERTILITE DES SOLS SUR LEUR ACTIVITE BIOLOGIQUE

✓ Intensité respiratoire

La fumure FMO a entraîné un accroissement sensible de l'activité biologique des sols, comparativement aux autres fumures. L'important dégagement de CO₂ observé, pour cette fumure est due à sa teneur élevée en carbone organique, et principalement à la proportion des composés facilement minéralisables. La détermination du carbone facilement minéralisable (CMG) a montré des écarts de 40 à 60 p.c. entre la fumure FMO et les autres fumures.

Ce résultat est en conformité avec ceux de nombreuses autres études réalisées dans des conditions diverses.

Sédogo (1993) a montré, à partir du même dispositif expérimental de Saria, une nette supériorité de l'intensité respiratoire de la fumure FMO sur toutes les autres fumures. Ses travaux ont révélé que le sol avec apport de la fumure FMO, contient 30 à 40 pour cent de composés polysaccharides (sucres hydrosolubles et sucres hydrolysables) de plus que les autres sols.

Bacyé (1993) a observé que la baisse de l'activité respiratoire des sols est en relation avec la chute des teneurs en carbone organique total du sol.

De la même façon Shibahara et *al.* (1998) ont montré, dans des essais de culture continue de riz, que l'utilisation de la matière organique induit une forte activité respiratoire des sols.

Les travaux de Thiombiano et Dianou (1999) ont également révélé une corrélation significative et positive entre la respiration du sol, l'azote et la matière organique, dans des états de surface des sols sahéliens.

Les études de Sawamoto et *al.* (2000), ont mis en évidence, en plantations forestières, que plus la teneur en carbone organique est forte, plus la respiration du sol est élevée.

Azmal et *al.* (1996 ; 1997) ont également observé des relations très étroites entre l'intensité respiratoire et la nature des substrats incorporés. Ils ont montré que l'intensité respiratoire des sols avec des résidus d'azolla (*Azolla pinnata*) et de sesbania (*Sesbania rostrata*) est plus importante que celle des sols avec des résidus de paille de riz (*Oriza sativa*) du fait d'une proportion plus importante d'hexose (sucre facilement minéralisable) dans les deux premières espèces, à l'opposé des résidus de paille de riz riche en lignine (composé résistant à la minéralisation)

L'étude a également révélé que l'intensité respiratoire au niveau de la rotation sorgho-niébé est supérieure à celle de la monoculture de sorgho, quel que soit l'amendement apporté. Ce résultat corrobore avec ceux rapportés par Chaussod (1996) qui indiquent, sur la base du rapport du carbone de la biomasse microbienne sur le carbone total pris comme indicateur, des valeurs moyennes de 2,32 p.c. pour les

monocultures, 2,37 p.c. pour les rotations des céréales exclusives et 3,02 p.c. pour les rotations faisant intervenir des cultures variées.

La fumure organo-minérale forte (FMO) améliore significativement l'intensité respiratoire des sols, tant dans la rotation sorgho-sorgho que dans la rotation sorgho-niébé. Cet effet bénéfique, est très étroitement lié à la teneur en carbone du sol, et surtout au carbone facilement minéralisable de cette fumure.

✓ Biomasse microbienne

L'étude a montré, dans les deux rotations, un effet significatif des fumures sur la biomasse microbienne par rapport au témoin sans amendement, avec des valeurs moyennes plus importantes dans la fumure FMO. Ce résultat est attribuable aux teneurs plus élevées en N, P et C du sol.

Cette observation rejoint celles de Schnürer et *al.* (1985) et Powlson et *al.* (1987). Les premiers auteurs ont obtenu un accroissement de la biomasse de 30 p.c. par rapport au témoin en apportant 80 kg/ha d'engrais azotés. Les seconds ont observé sur des sols légers, après dix huit années de traitements différenciés, une augmentation de la biomasse-C de 37 à 45 p.c.

L'étude a par ailleurs indiqué que les quantités de biomasse-C des sols ayant bénéficié de l'apport de matière organique (fmr, fmo, FMO) sont significativement plus élevées que celles des sols sans apport de matière organique.

Ceci met en évidence l'effet activateur de la matière organique sur la biomasse microbienne comme l'ont décrit de nombreux auteurs (Verstraete et Voets, 1977 ; Fauci et Dick, 1994 ; Carter et *al.*, 1999 ; Lundquist et *al.*, 1999 ; Asimi et *al.* 2000a).

L'étude a également révélé, au niveau du témoin et des fumures avec apport de matière organique, une légère supériorité de la biomasse-C de la rotation sorgho-sorgho par rapport à celle la rotation sorgho-niébé. Ce résultat s'explique par plusieurs facteurs dont celui des plantes qui rentrent dans les successions des cultures (Carter et *al.*, 1999).

En effet, les racines des plantes, selon leur architecture et l'importance de leur développement modifient la texture du sol. Dans le cas de cette étude, la culture continue de sorgho semble favoriser une bonne aération du sol comparativement à la rotation sorgho-niébé. Potthoff et *al.* (2001) ont décrit le rôle déterminant de la structure physique du sol sur la biomasse microbienne. Ils ont montré que la biomasse microbienne augmente avec la présence de la macrofaune, en l'occurrence les vers de terre (les *Lumbricidae*) ; ils attribuent cet accroissement de la biomasse microbienne à une modification de la structure physique du sol plutôt qu'aux substrats apportés par ces organismes. Ceci est la conséquence d'une bonne aération du sol par ces vers.

Couture et Fortin (1982) ont également mis en exergue l'effet stimulateur des vers de terre sur la biomasse microbienne, tandis que Bottner et *al.* (1984) ont au contraire obtenu dans des sols argileux une biomasse microbienne plus élevée que celle des sols sableux.

Une corrélation positive entre la biomasse microbienne et la productivité des sols a été mise exergue dans cette étude. Ce résultat montre que la biomasse microbienne est un bon indice pour apprécier la productivité d'un sol. Elle indique le niveau de fertilité biologique du sol qui est une composante essentielle de la fertilité du sol.

Srivatava et Lal (1994), Carter et *al.* (1999) ont obtenu des résultats similaires. Toutefois, les travaux de ces auteurs ont montré que la corrélation entre la biomasse-C du sol et la production n'est pas seulement due à la biomasse-C, mais aussi aux conditions de cultures. Ils ont montré, sur des sols de niveaux de productivité très différents, des quantités de biomasses comparables.

Ce qu'on peut retenir de cette étude c'est l'effet activateur de la matière organique sur l'intensité respiratoire et la biomasse microbienne du sol. La fumure organo-minérale forte (FMO) induit une activité biologique significativement plus élevée que celles des autres fumures et partant contribue à la fertilité du sol. Les fumures minérales, appliquées seules, ont plutôt tendance à réduire l'activité biologique des sols et par conséquent leur emploi est à éviter.

❑ INFLUENCE DES MODES DE GESTION DE LA FERTILITE DES SOLS SUR L'ACTIVITE DES BACTERIES RESPONSABLES DE LA MINERALISATION DE L'AZOTE ET DU CARBONE

- ✓ Minéralisation de l'azote : ammonification et nitrification

L'étude a montré dans l'ensemble, une intense activité des germes ammonifiants dans les sols utilisés. Les différentes fumures appliquées n'ont pas influé sur le nombre total de germes estimé à plusieurs dizaines de millions par gramme de sol, mais plutôt sur leur activité journalière qui évolue différemment en fonction du temps.

On a dénombré des densités de germes de bactéries ammonifiantes supérieures à 10^8 par gramme de sol dans tous les sols, ce qui concorde avec des résultats décrits par d'autres auteurs et qui indiquent des valeurs allant de $1,68 \times 10^7$ à $2,5 \times 10^{11}$ (Kuai et Verstraete, 1999 ; Phillips et al., 2000 ; Duddleston et al., 2000).

L'étude a aussi montré que les fumures organo-minérales permettent de réduire le temps de minéralisation de l'azote d'au moins 6 à 11 jours par rapport aux fumures minérales seules et au témoin. Ce résultat s'apparente à ceux de Stroo et Alexander (1986), McKenny et al. (1993), Peacock et al., (2000). Ces auteurs ont montré que

l'ammonification était fortement inhibée dans les sols à très faibles teneurs en matière organique.

Les densités des bactéries nitrifiantes obtenues dans cette étude sont très faibles : elles ne sont que de quelques dizaines par gramme de sol. Phillips et *al.* (2000) ont rapporté des densités de germes du même ordre de grandeur (4 et 10^5 par gramme de sol).

L'étude a révélé un accroissement du nombre de germes nitrifiants, dans les fumures organo-minérales comparativement au témoin et aux fumures minérales seules, comme l'ont également observé Stroo et Alexander (1986). Ces auteurs ont montré que la nitrification était fortement inhibée dans les sols à très faibles taux de matière organique, ce qui les a emmenés à déduire que la matière organique protège les bactéries minéralisatrices d'azote contre l'inhibition due à une forte acidité du sol.

De nombreux autres travaux ont aussi montré une baisse de la nitrification dans les sols très acides (Paavolainen et Smolander, 1998 ; Prinčič et *al.*, 1998).

✓ Minéralisation du carbone : hydrolyse de l'amidon

L'étude a montré que le temps d'hydrolyse de l'amidon pour la fumure fm est plus court que celui des autres fumures, en particulier la fumure FMO. Elle a par ailleurs indiqué, aux premiers jours du processus, une activité plus importante au niveau de la fumure FMO par rapport aux autres fumures.

Ces observations permettent de déduire une double action de la fumure organo-minérale forte : la première action stimule l'activité des bactéries, rendant les produits rapidement disponibles aux plantes, et la seconde action régule la vitesse de décomposition des substances. Cette action de régulation consiste à limiter le taux de minéralisation des substances pour tenir compte du rapport C/N. Ce résultat confirme ceux des travaux de Grobler et *al.* (1987) et Kapkiyai et *al.* (1999). Ces auteurs ont mis

en évidence le rôle protecteur de la matière organique sur la minéralisation du carbone. Ils ont observé une corrélation négative entre le taux de matière organique des sols et la minéralisation du glucose. Kipkiyai et *al.* (1999) ont montré que l'apport du fumier de parc et la restitution de paille de maïs permettent de réduire sensiblement le taux de minéralisation du carbone.

L'étude a en outre mis en exergue deux pics caractéristiques de l'hydrolyse de l'amidon. Ces deux pics s'apparentent à ceux observés par Berendse et *al.* (1989). Selon ces auteurs, ces pics correspondent à deux phases de minéralisation du carbone : une première phase initiale rapide, pendant laquelle les produits facilement dégradables disparaissent, et une seconde phase relative à la décomposition des composés plus résistants. Baldrian et *al.* (2000) ont rapporté le même type d'observations et ils attribuent la première phase de minéralisation à l'action des bactéries et la seconde à celle des germes fongiques.

Les densités des bactéries amylolytiques obtenues dans cette étude sont très élevées ; elles se comptent en millions par gramme de sol ce qui est comparable aux données de Chin et *al.* (1999) qui ont enregistré des densités de bactéries supérieures à $2,5 \cdot 10^8$ par gramme de sol. Ce résultat s'explique par la grande diversité des microorganismes qui interviennent dans la minéralisation du carbone dans le sol.

Les résultats de cette étude ont mis en exergue l'intérêt de la matière organique. En effet, l'examen des résultats montre, tant pour la minéralisation de l'azote que du carbone, un effet bénéfique de la fumure organo-minérale.

Concernant l'azote, le traitement FMO améliore l'activité des bactéries responsables de l'ammonification et de la nitrification, ce qui favorise la mise à disposition rapide des produits transformés et leur meilleure assimilation par la plante.

Pour le carbone, sa minéralisation est au contraire retardée par l'application de la fumure organo-minérale forte ; cela a pour avantage de réduire les pertes de matière organique du sol.

Dans nos conditions d'étude, la fumure organo-minérale forte réunit tous les facteurs favorables à une bonne gestion de la fertilité des sols : son pH est supérieur d'au moins 0,5 point à celui des autres traitements et elle présente le stock le plus important de matière organique.

Les autres amendements n'ont pas produit d'effets notables par rapport au témoin.

❑ EFFETS INDUITS DU TRAITEMENT THERMIQUE SUR LES PARAMETRES BIOLOGIQUE ET CHIMIQUE DU SOL : CONSEQUENCES SUR LA PRODUCTION DES PLANTES.

✓ Activité des bactéries nitrifiantes et dégradation du maltose

Dans les tests portant sur l'effet induit du traitement thermique sur la densité des bactéries nitrifiantes et celles responsables de la réduction du maltose, on a constaté que le fait de chauffer le sol à 120°C pendant une heure entraîne une stérilisation partielle du sol mais ne supprime pas l'activité des bactéries.

L'effet du traitement thermique du sol sur la densité des germes est temporaire, car dès que les conditions deviennent favorables leurs nombres augmentent considérablement pour atteindre, voire dépasser, ceux des sols témoins.

Russell (1976) a montré une réduction sensible de la densité des microorganismes des sols soumis au traitement thermique. Il a souligné que l'effet thermique libère les niches précédemment occupées par ces organismes et celles-ci sont plus ou moins rapidement de nouveau colonisées par des organismes favorables

selon l'intensité de la chaleur produite et le type de microorganismes présents dans le sol.

Yeager et *al.*, (2005) ont également rapporté un effet similaire ; ils ont non seulement observé une recolonisation rapide des sols par des groupes spécifiques de microorganismes, suite au traitement thermique, mais parfois aussi un accroissement du nombre de germes.

✓ Effet du traitement thermique sur l'activité biologique des sols.

L'étude a montré, quel que soit le sol, un accroissement significatif de l'intensité respiratoire des sols traités par rapport à ceux non traités. Ces résultats s'apparentent à ceux d'autres travaux (Yé, 2002 ; Yeager et *al.*, 2005 ; Concilio, 2005).

C'est l'effet le plus important dû au traitement thermique sur les paramètres du sol. Cet effet est comparable à celui produit par la fumigation au chloroforme. Les germes détruits par la chaleur constituent un bon substrat, qui facilement minéralisé vient augmenter la quantité de CO₂ produite.

Les travaux réalisés dans les parcs de Saponé et de Saria ont révélé l'importance de l'arbre dans les champs et surtout une supériorité des paramètres biologiques sous houppier par rapport à ceux situés hors houppier.

Yé (2004) a observé, dans divers sols collectés en champs paysans, une corrélation entre l'intensité respiratoire du sol et la température dans l'intervalle de 30 à 180°C. Les écarts observés entre le témoin et le sol traité sont attribués aux variations des densités des microorganismes.

Concilio (2005) a, quant à lui obtenu des valeurs d'intensité respiratoire comparables pour les sols traités et les témoins. Notons que la méthode d'estimation de l'activité biologique utilisée par Concilio est différente de la nôtre, ce qui pourrait expliquer cette différence entre les résultats.

✓ Effet du traitement thermique sur les caractéristiques chimiques des sols

Au plan d'ensemble l'étude, pour les paramètres chimiques des sols, a relevé des effets variables du traitement thermique selon le sol et le type d'amendement. Les écarts observés entre les sols traités et les témoins sont toutefois relativement faibles.

Les faibles écarts des teneurs en minéraux observés entre les sols traités et les témoins reflètent le niveau d'intensité de chaleur appliquée. A 120°C, les caractéristiques chimiques des sols sont très peu ou pas modifiées, contrairement à ce qu'on observe dans les feux de brousse où les températures peuvent aller au-delà de 700°C. Dans ces conditions le sol subit de profondes modifications tant chimique, physique que biologique (Sertsu et Sanchez, 1978 ; Almendros *et al.*, 1990 ; Giovannini *et al.*, 1990 ; Giovannini et Lucchesi, 1997 ; Sawamoto *et al.*, 2000 ; Pallo *et al.*, 2000).

Au niveau de chaque paramètre mesuré, on a noté :

1) une légère baisse du pH pour tous les sols

Giovannini et Lucchesi (1997) ont obtenu des résultats similaires pour des températures comprises entre 25 et 85°C. Goma (2003) a rapporté à la fois des effets négatifs ou positifs suivant les cas ;

2) une légère hausse du rapport C/N du sol traité comparativement au témoin. Les travaux réalisés sur des parcelles de Tiogo dans la région centre-ouest du Burkina Faso par Pallo *et al.* (2000) ont aussi indiqué un accroissement de 20 pour cent du rapport

C/N ; les auteurs attribuent cet accroissement à la baisse du taux d'azote total, suite aux effets répétés des feux précoces ;

3) une légère hausse carbone organique

Pour le carbone organique, de nombreuses études ont mis en évidence une augmentation due au traitement thermique des sols (Almendros *et al.*, 1990 ; Giovannini et Lucchesi, 1997 ; Sawamoto *et al.*, 2000 ; Gichuru *et al.*, 2003).

L'écart entre la teneur en carbone organique du sol traité et le témoin, mis en exergue dans notre étude, peut en partie s'expliquer par l'effet thermique sur la transformation de la biomasse microbienne. En effet, la chaleur détruit partiellement les microorganismes du sol et leurs cadavres subissent une minéralisation rapide avec libération du carbone.

4) aucune incidence sur le phosphore assimilable.

Pour le phosphore assimilable Goma (2003) a rapporté des valeurs similaires pour les sols traités ou non. Il a justifié ce résultat par la très faible mobilité de cet élément dans les sols. Gichuru *et al.* (2003) ont au contraire relevé un accroissement de P du fait de l'effet thermique ;

5) aucun effet sur les teneurs en azote total des sols traités

Ce résultat est contraire à ceux rapportés par Goma (2003) indiquent une augmentation, due à l'effet thermique, de l'azote minéral (ammoniacal et nitrique). Selon Goma (2003) la hausse de la teneur en N suite à l'effet thermique, est due au fait qu'il se développe dans le sol témoin une intense activité des bactéries réductrices de N. Cette intense activité annihile le processus de transformation de l'azote ammoniacal en azote nitrique. Ceci a pour conséquence une baisse de la fertilité des sols témoins par rapport à ceux traités.

- ✓ Effets du traitement thermique du sol sur la teneur en phosphore et azote du sorgho

L'étude a montré un effet global hautement significatif du traitement thermique sur la teneur en N et P des plantes. Ce résultat s'explique par le fait que la chaleur transforme l'azote et le phosphore organiques et particulièrement les éléments facilement minéralisables en composés utilisables par les plantes. Ceci explique en partie le bon développement des plantes dans les sols soumis au traitement thermique.

La sensibilité de notre méthode d'analyse des sols n'a pas permis de détecter ces composés.

- ✓ Effets du traitement thermique du sol sur la biomasse des plantes

Au plan de la productivité des cultures, l'étude a révélé un effet significatif du traitement thermique du sol sur les rendements des plantes de sorgho et de niébé dans tous les sols utilisés. Ce résultat s'apparente à ceux de nombreux autres travaux (Nishita et al., 1970 ; Nishita et Haug, 1972 ; Giovannini et al., 1990) qui attribuent l'accroissement de la production des plantes à l'augmentation du phosphore assimilable, de l'azote ammoniacal ainsi que d'autres éléments comme le calcium, le potassium et le magnésium.

Goma (2003) et Gichuru et al. (2003) ont également rapporté des résultats similaires. Ces auteurs justifient l'incidence positive du traitement thermique par le fait que la chaleur transforme certains éléments organiques, en l'occurrence le phosphore et l'azote, en éléments minéraux facilement assimilables par la plante. Ils soutiennent, pour ce qui concerne l'azote, que l'effet positif observé se manifeste par l'inhibition partielle de l'activité des bactéries nitrifiantes. Cette action entraîne une hausse de la fertilité du sol et partant une meilleure production des cultures.

De la même façon Yé (2004) a observé une augmentation des rendements du sorgho qu'il attribue à la transformation de certains paramètres chimiques et surtout à l'amélioration de l'activité biologique des sols.

Les grandes tendances qui se dégagent de l'étude montrent, dans l'ensemble que le traitement thermique du sol induit des modifications sur ses paramètres tant chimiques que biologiques. Si ces modifications sont très importantes pour l'activité biologique, elles demeurent relativement faibles pour les caractéristiques chimiques.

L'accroissement des rendements des plantes observé dans les sols traités est dû entre autres à :

1. l'élimination suppression des germes pathogènes et un meilleur contrôle des interactions entre des microorganismes du sol ;
2. l'augmentation de l'activité biologique du sol ;
3. la transformation des composés organiques du sol.

L'effet du traitement thermique du sol sur la production revêt un grand intérêt pour les cultures, surtout dans les sols à faible disponibilité en éléments minéraux. Il en est de même pour les sols fortement infestés, ce qui justifie l'usage du traitement thermique dans les pépinières en vue de produire des plants sains et vigoureux. Toutefois, la pratique de la technique exige un contrôle des intensités de température. Les fortes intensités de température induisent, à l'inverse des températures modérées, des effets négatifs tant sur les paramètres chimiques et biologiques que sur les rendements des cultures.

CONCLUSION GENERALE

Les grandes tendances qui se dégagent de l'étude, par rapport aux trois hypothèses du travail, ont montré que :

✚ Les fumures minérales et /ou organo-minérales ont affecté l'activité des microorganismes du sol. L'étude a révélé que certains amendements conviennent mieux que d'autres à l'entretien et au maintien de la santé des sols. Elle a, en outre, permis d'établir des relations entre l'activité biologique et les paramètres chimiques des sols;

✚ L'apport de la matière organique s'est avéré bénéfique pour l'activité des microorganismes. Elle a amélioré sensiblement tous les paramètres biologiques des sols étudiés comparativement au témoin ; les résultats ont surtout mis en évidence un effet prononcé de la fumure organo-minérale forte (FMO) qui, comparée aux autres fumures a :

- entraîné un accroissement significatif du nombre de nodules chez le niébé, ce qui implique un enrichissement du sol en azote. Dans le concept d'une agriculture durable, l'emploi de la fumure organo-minérale forte peut favoriser les gains en azote des sols et permettre de réduire l'apport d'engrais chimiques à base d'ammoniaque ;
- amélioré l'activité biologique globale du sol qui est une composante essentielle de la fertilité du sol ;
- accéléré le processus de transformation de l'azote ;
- retardé la décomposition du carbone.

Son action sur la minéralisation de l'azote et du carbone présente le double l'avantage de favoriser la mise à disposition rapide des substrats azotés à la plante et de freiner la perte en carbone dans le sol.

L'apport de la matière organique est vivement conseillé dans les pratiques agricoles. Toutefois, l'étude a montré que seul son apport à forte dose permet d'obtenir des résultats intéressants, tant sur les paramètres chimiques et biologiques du sol que sur les rendements des cultures. Les fumures minérales appliquées seules ont une incidence plutôt néfaste tant sur les paramètres chimiques que sur l'activité biologique du sol.

L'activité biologique globale demeure un indicateur de choix qu'on peut utiliser pour mieux connaître et gérer les sols dans une perspective agronomique.

🌈 Le Traitement thermique modifie les paramètres chimiques du sol et permet d'accroître les rendements des cultures.

Au plan d'ensemble, l'étude a relevé, selon la nature du sol et la fumure appliquée, des effets variables et relativement faibles du traitement thermique sur la modification des paramètres chimiques du sol. L'analyse du végétal a montré, au contraire, que les quantités d'azote et de phosphore exportées par la plante sont significativement plus importantes dans les sols soumis au traitement thermique que ceux non soumis. Ce constat permet d'expliquer en partie l'accroissement spectaculaire des rendements que l'on a observé dans les sols traités.

La technique du traitement thermique du sol, au champ s'apparente aux pratiques de brûlis des résidus de récoltes. Or, dans les régions sahéliennes et en particulier dans le plateau central du Burkina Faso, les producteurs font recours pour nettoyer leurs champs. De même en pépinières, cette technique est largement utilisée pour la production des plantules saines. Elle peut permettre de lever certaines contraintes de

production végétale liées soit aux fortes infestations parasitaires, soit à la pauvreté des sols. Toutefois, il est important de savoir que les températures faibles (45 à 150°C) à modérées (200 à 300°C) sont plus propices, tandis que les températures élevées (autour de 700°C) sont défavorables car elles détruisent le stock de carbone et entraînent la volatilisation des composés azotés.

L'utilisation du feu en agriculture demeure à un sujet à controverse qui continue de susciter des débats entre les partisans et les adversaires de la technique. Mais le veuille ou non, dans certaines régions la pratique du brûlis est systématique, et il est plus que urgent de proposer des solutions à même de préserver le capital sol et d'assurer la production pour satisfaire les demandes des populations.

PERSPECTIVES

Des axes de recherche complémentaires, permettant de mieux comprendre les interactions entre les microorganismes et la composante sol-plante se dégagent de la présente étude.

- 1) Un premier axe pourrait concerner l'étude de l'influence des fumures sur la diversité des microorganismes. Elle pourrait donner des indications sur la biodiversité des microorganismes essentiels du sol et les transformations qu'ils subissent du fait des pratiques agricoles.
- 2) Un deuxième axe pourrait être l'application effective des mycorhizes au champ. Des essais sont déjà en cours de réalisation et la mise au point de techniques de culture du champignon mycorhizogène permet d'espérer le succès de cette application au champ.
- 3) Un troisième axe pourrait aborder l'étude du traitement thermique du sol en prenant en compte des températures d'intensités plus élevées. L'étude permettrait de compléter les données sur les analyses chimiques déjà obtenues.
- 4) Un quatrième axe pourrait concerner le transfert fonctionnel du gène Nif du rhizobium vers d'autres bactéries afin d'élargir la gamme des plantes fixatrices d'azote. L'étude est bien envisageable compte des progrès réalisés, actuellement en matière de biotechnologies. Cela pourrait être une alternative à l'emploi sans cesse croissant des engrais chimiques à base d'ammoniaque.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Aikawa J., Ishii T., Kuramoto M. and Kadoya K. (2000)- Growth stimulants for vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in Satsuma Madarin Pomace. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 69 (4): 385-389.

Almendros G., Gonzalez-Vila F.J. and Martin F. (1990)- Fire-induced transformation of soil organic matter from an oak forest: an experimental approach to the effects of fire on humic substances. *Soil Science*, 140 (3): 158-168.

Anonyme, 1984- Legume inoculants and their use. By NifTAF Project, USA and FAO Fertilizer and Plant Nutrition Service, 63 p.

Anonyme, 1993- Atelier de formation à la programmation budgétaire de la recherche agricole. Cas de la zone Est du Burkina Faso, 81 p.

Anonyme, 1994- Analyse des contraintes et des potentialités et proposition d'un programme régional de recherche agricole intégrée au Sahel Burkinabé, 82

Anonyme, 1995- Agriculture mondiale Horizon 2010, Etude de la FAO, Alexandratos (Ed.) Polytechnica, Paris.

Anonyme, 2003- Burkina Faso : La pauvreté en 2003. Rapport, novembre 2003, 3 p.

Anonyme, 2005- Rapport d'activités 2003-2004. Ed. DIST/CNRST, 75 p.

Anonyme, 2006 – Recensement général de la population et de l'habitation (RGPH) de 2006 du Burkina Faso – Résultats préliminaires, 51 p.

- Anonyme, 2008 - Climat, changements climatiques et pratiques agro-pastorales en zone sahélienne. Rapport de synthèse régionale, CSAO/OCDE, FAO, CILSS, pp. 1-8.
- Anderson J.P.E. and Domsch K.H. (1978)- Mineralization of bacteria and fungi in chloroform fumigated soils. *Soil Biology and Biochemistry* ., 10: 207-213.
- Arihara J., Hatano R., Yajima T., Takahashi K. and Isaev A.P. (2000)- Effect of previous crops on arbuscular mycorrhizal formation and growth of succeeding maize. *Soil Science and Plant Nutrition*., 4(1): 43-51.
- Arihara J. and Karasawa T. (2000)- Effect of previous crops on arbuscular mycorrhizal formation and growth of succeeding maize. *Soil Science and Plant Nutrition*., 41(1) : 43-51.
- Arrivets J. (1971)- Fertilisation des variétés voltaïques de sorgho sur les sols ferrugineux tropicaux du Plateau Mossi. Résultats 1971, rapport IRAT/Haute Volta, 49 p.
- Asimi S., Gianinazzi-Pearson V., Gianinazzi S, Obaton M. et Berthau Y. (1978)- Interactions entre les endomycorhizes à vésicules et arbuscules (VA) et le rhizobium chez le soja. 103^e *Congrès National des Sociétés Savantes*, 1: 247-256
- Asimi S. (1979)- Interactions entre les Endomycorhizes VA, le Rhizobium et le Phosphore du sol chez le soja (*Gycine max(L) Merrill, var Amsoy*). Thèse de Doctorat, Université de Dijon, 32 p.
- Asimi S., Gianinazzi-Pearson V. and Gianinazzi S. (1980)- Influence of increasing soil phosphate levels on interactions between vesicular-arbuscular mycorrhizae and Rhizobium in soybean. *Canadian Journal of Botany*.,58: 2200-2206

- Asimi S., Assa A., Sedogo M. P et Lompo F. (2000a)- Influence des modes de gestion des terres sur la respiration du sol et le carbone de la biomasse microbienne. *Sciences et Techniques, Sciences Naturelles et Agronomie*, janvier-juin 2000, 24 (1) : 42-53.
- Asimi S., Gianinazzi-Pearson V., Sedogo M. P. et Assa A. (2000b)- Influence de différents types de fumures sur la nodulation et la mycorhization des plants de niébé dans une rotation de cultures sorgho niébé. *Sciences et Techniques, Sciences Naturelles et Agronomie*, janvier-juin 2000, 24 (1) : 21-32.
- Asimi S. et Kambou G.. (2000)- Effets des bactéries natives sur la solubilisation du phosphate naturel du Burkina et la croissance du maïs. *Sciences et Techniques, Sciences Naturelles et Agronomie*, janvier-juin 2000, 24 (2) : 7-16
- Aurag , J. et Brhada F. (1995). Dynamique des populations de *Rhizobium* introduites dans le sol: influence du stress hydrique, de l'acidité et de la texture du sol. *In* J.J Drevon Ed, Facteurs limitant de la fixation symbiotique de l'azote dans le bassin méditerranéen. Edition INRA Paris, 1995 (les Colloques n° 77) : 149-158.
- Ayanaba A. (1978)- Manpower needs for soil fertility maintenance in developing nations. *In* Global Impacts of Applied Microbiology (GIAM V), Ed.STANTON and DaSILVA, Kuala Lumpur, Malaysia, 323 p.
- Azmal A.K.M., Marumoto T., Shindo H. and Nishiyama M. (1996)- Mineralization and changes in microbial biomass in water-saturated soil amended with some tropical plant residues. *Soil Science and Plant Nutrition*, 42(3): 483-492
- Azmal A.K.M., Marumoto T., Shindo H. and Nishiyama M. (1997)- Changes in microbial biomass after continuous application of Azolla and rice straw in soil. *Soil Science and Plant Nutrition*, 43(4): 811-818.

- Bâ A. M., Bazié M. et Guissou T. (1996)- Effet du phosphate naturel sur de jeunes *Acacia albida* Del. En présence ou non de mycorhizes. In : Les Parc à *Faidherbia*, Cahiers Scientifiques du CIRAD-Forêts des Tropiques, 12 : 237-244.
- Babana A.H. et Antoun H. (2005)- Biological system for improving the availability of Tilemsi phosphate rock for wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivated in Mali. 2005. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 72: 147-152
- Babana A.H. et antoun H. (2006)- Effect of Tilemsi phosphate rock solubilizing microorganisms on phosphorus-uptake and yield of field grown wheat in Mali. *Plant and Soil*, 287: 51-58.
- Bacye B. (1993)- Influence des systèmes de culture sur l'évolution du statut organique et minéral des sols ferrugineux et hydromorphes de la zone soudano-sahélienne (Province du Yatenga , Burkina Faso). Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Ex Marseille, France, 243 p.
- Baldrian P., Wiesche C., Gabriel J., Nerud F. and Zadrazil F. (2000)- Influence of cadmium and mercury on activities of lignolytic enzymes and degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by *Pleurotus ostreatus* in soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 66 (6): 2471-2478.
- Barro A., Zougmore R. et Taonda J-B S. (2005)- Mechanizing the manual zaï technique in semi arid areas. *Cahiers Agricultures*, 14 (6): 549-559.
- Baud-Grasset S, Baud-Grasset F., Bifulco J.M., Meier J.R. and Ma T.H. (1993)- Reduction of genotoxicity of a creosote-contaminated soil after fungus treatment determined by the Tradescantia-micronucleus test. *Mutation Research*, 303: 77-82.

- Becker M., Ladha J.K. and Ottow J.C.G. (1990)- Growth and N₂-fixation of two-stem nodulating legumes and their effects as green manure on lowland rice. *Soil Biology and Biochemistry*, 22 : 1109-1119.
- Berendse F., Bobbink R. and Rouwenhorst G. (1989)- A comparative study on nutrient cycling in wet heathland ecosystems. I. Litter decomposition and nutrient mineralization. *Oecologia* (Berlin) 78:338-348.
- Bertrand R. (1989) – Mécanismes d'agrégation des sols tropicaux pauvres en argiles gonflantes. Rapport préliminaire de la mission de reconnaissance morphologique des régions de Saria (Burkina Faso) et de Molobala (Mali). Doc IRAT/CER/DRN, 4, Montpellier, 35 pp.
- Boiffin J. et Monnier G. (1989)- Evolution de certaines composantes de la fertilité sous l'influence des systèmes de cultures. In : « Fertilité et Systèmes de Production », M. Sebillotte, Ed., INRA Edition, Paris, pp. 207-225.
- Bottner P., Mneimne Z. et Billes G. (1984)- Réponse de la biomasse microbienne à l'adjonction au sol de matériel végétal marqué au C¹⁴. Rôle des racines vivantes. *Soil Biology and Biochemistry*, 17: 329-337.
- Boudarga K. et Dexheimer J. (1990)- Une méthode simple pour maintenir et multiplier les champignons des mycorhizes à vésicules et arbuscules. *Agronomie*, vol 10 : 417-422
- Bruns M.A., Stephen J.R., Kowalchuk G.A., Prosser J.I. and Paul E.A. (1999)- Comparative diversity of ammonia oxidizer 16S rRNA gene sequences in native, tilled, and successional soils. *Applied and Environmental Microbiology*, 65 (7): 2994-3000.

- Burell P.C., Keller J. and Blackall L.L. (1998)- Microbiology of a nitrite-oxidizing bioreactor. *Applied and Environmental Microbiology*, 64 (5): 1878-1883.
- Cattan P., Letourmy P., Zagre B., Minougou A., Compaoré E. (2001)- Rendement de l'arachide et du sorgho en rotation sous différents itinéraires techniques au Burkina Faso. *Cahiers Agricultures*, 10 (3) : 159-172.
- Carter M.R. (1984)- Effect of soil management on some chemical, physical, and biological properties of solonchic soil. *Soil Science*, 138, (6): 411-416.
- Carter M.R., Gregorich E.G., Angers D.A., Beare M.H., Sparling G.P., Wardle D.A. and Voroney R.P. (1999)- Interpretation of microbial biomass measurements for soil quality assessment in humid temperate regions. *Canadian Journal of Soil Science*, 79: 507-520.
- Chabot R., Antoun H. and Cescas M.P. (1996). Growth promotion of maize and lettuce by phosphate-solubilizing *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli* . *Plant and Soil* 184, 311-321.
- Charron G. (1990)- Réponse de plants d'oignon à l'endomycorhization selon la méthode d'inoculation, le type de sol et la fertilisation azotée et phosphatée. Mémoire de maître ès sciences (M.Sc.), Université de Laval, Québec, 98 p.
- Chaussod R. (1996)- La qualité biologique des sols : Evaluation et implications. *Etude et Gestion des Sols*, 3,4, pp. 261-278.
- Chaussod R., Nicolardot B. et Catroux G. (1986)- Mesure en routine de la biomasse microbienne des sols par la méthode de fumigation au chloroforme. *Science du Sol*, 2 : 201-211.
- Chin K.-J., Han D., Hengstmann, Liesack W. and Janssen P.H (1999)- Characterization and identification of numerically abundant cultivable bacteria

from the anoxic bulk soil of rice paddy microcosms. *Applied and Environmental Microbiology*, 65 (11):5042-5049.

Compaoré E., Fardeau J.F., Frossard E. et Sédogo M .P. (2001a) – Phosphate naturel de Kodjari, de son dérivé partiellement acidifié et d'un compost évaluée par la méthode d'échange isotopique. *Sciences et Techniques, Sciences Naturelles et Agronomie*, janvier-juin 2000, 24(1) ; 67-81

Compaoré E., Fardeau J.F., Moret J-L.et Sédogo M .P. (2001b) – Le phosphore biodisponible des sols: une des clés de l'agriculture durable en Afrique de l'Ouest. *Cahiers Agricultures*, 10 (2) : 81-85.

Concilio A.L. (2005)- Interannual variability in soil respiration and response to experimental burning and thinning in an old growth mixed-conifer forest. Master of Biological Science Degree in Biology The University of Toledo, 69 p.

Cornet F. et Diem H.G. (1986)- Etude comparative de l'efficacité des souches de rhizobium, d'acacia isolées des sols du Sénégal et effet de la double symbiose *Rhizobium-Glomus mosseae* sur la croissance de *Acacia holosercea* et *A. raddiana*. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, 19 : 1-13.

Couture M. et Fortin J. A. (1982)- Activités biologiques dans les sols de six écosystèmes forestiers du Québec Méridional. *Canadian Journal of Soil Science*, 62: 599-615.

Danso S. K. A. (1991)- Biological nitrogen fixation in tropical agrosystems: twenty years of biological nitrogen fixation in Africa. *In* Biol. Nitrogen fixation and sustainability of tropical agriculture. Ed. by Mulongoy K., Gueye M. and Spender D.S.C (John Wiley and Sons):.488 p.

- Dart P.J. and Wildon D.C. (1970)- Nodulation and nitrogen fixation by *Vigna sinensis* and *Vicia atropurpurea*: the influence of concentration, form, and site of application of combined nitrogen. *Australian Journal Agricultural Research*, 21: 45-56.
- Dianou D. et Bâ A.M. (1999)- Influence de trois rhizobactéries sur la croissance et la fixation d'azote du niébé en présence du phosphate naturel. *Sciences et Techniques, Sciences et Techniques, Sciences Naturelles et Agronomie*, 23 (2) : 7-15
- Dickman S.R. and Bray R.H. (1940)- Colorimetric determination of phosphate. *Ind. Eng. Chem., Anal. Ed.*, 12 : 665-668.
- Diop T. A. (2003) - *In vitro* culture of arbuscular-mycorrhizal fungi: advances and future prospects. *African J. of Biotechnology*, 2 (12): 692-697.
- Domey S. and Lippmann G. (1989) -. Stimulation of plant growth by phosphate solubilizing bacteria. *In Interrelationships between microorganisms and plants in soil. Dev. Soil. Sci.*, (Éditeurs : V. Vancura et F. Kunc), 18 : 457 – 461.
- Dommergues Y. (1960)- La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans les sols. *L'Agronomie Tropicale*, 15(1): 55-60.
- Dommergues Y et Mangenot F. (1970)- Ecologie microbienne du sol. Edition MASSON et Cie., 795 p.
- Dreyfus B. et Dommergues Y. (1980)- Non-inhibition d'azote atmosphérique par l'azote combiné chez une légumineuse à nodules caulinaires, *Sesbania rostrata*. *C. R. Acad Sc. Paris*, T291, pp. 767-770

- Duddleston K.N., Bottomley P.J., Porter A. and Arp D.J. (2000)- Effects of soil and water content on methyl bromide oxidation by ammonia-oxidizing bacterium *Nitrosomonas europaea*. *Applied and Environmental Microbiology*, 66 (6): 2636-2640.
- Ellis J.R., Roder W. and Mason S.C. (1992)- Grain-sorghum-soybean Rotation and Fertilization influence on Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal fungi. *Soil Science American Society Journal*.: 56, 789-794.
- Ezawa T., Yamamoto K. and Yoshida S. (2000)- Species composition and spore density of indigenous vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi under different conditions of P-fertility as revealed by soybean trap culture. *Soil Science and Plant Nutrition*, 46: 291-297.
- Fauci M.F. and Dick R.P. (1994) - Soil microbial dynamics: Short -and Long-Term effects of inorganic and organic nitrogen. *Soil Science Society American Journal*., 58: 801-806.
- Fred E.B. and Graul E.J. (1932) - The effect of soluble nitrogenous on nodule formation. *Journal of American Society of Agronomy*, 8: 316-328.
- Ganry F., Diem H.G., Wey J. and Dommergues Y.R. (1985)- Inoculation with *Glomus mosseae* improves N₂ fixation by field-grown soybeans. *Biology and Fertility of Soils*, 1: 15-23.
- Genny H., Gessel S.P. et Bingham F.T. (1949) - Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil Science*, 68: 419-432.
- Germida J. J. and Jansen H. H. (1993)- The influence of microorganisms on the phosphate intake by the plant. *Plant and Soil*. 1: 51-81.

- Gianinazzi-Pearson V. (1976)- Les mycorhizes endotrophes: état actuel des connaissances et possibilités d'application dans la pratique culturale. *Annual Revue of Phytopathology*.: 8 (3): 249-256.
- Gianinazzi-Pearson V. and Gianinazzi S. (1981) - Rôle of endomycorrhizal fungi in phosphorus cycling in the ecosystem. *In: The Fungal Community, its organisation and role in the ecosystem*, Ed. By Donald T. Wicklow and George C. Carroll, New York and Basel; pp. 637-652.
- Gianinazzi S. (1982)- L'endomycorhization contrôlée en agriculture, en horticulture et en arboriculture : problèmes et progrès. *In les Mycorhizes : biologie et utilisation*. Dijon, 5-6 mai 1982, Ed. INRA Publ., 1982 (Les colloques de l'INRA), 13 : 231-238.
- Gianinazzi-Pearson V. (1982)- Physiologie des endomycorhizes et perspectives offertes par leur utilisation. Académie d'Agriculture de France, pp. 380-389.
- Gianinazzi-Pearson V. (1986) - Mycorrhizae: a potential for a better use of phosphate fertilizer. *Fertilizers and Agriculture*, 92: 3-12.
- Gianinazzi S., Trouvelot A., Lovato P., Van Tuinen D., Franken P. and Gianinazzi-Pearson V. (1995)- Arbuscular mycorrhizal fungi in plant production of temperate agroecosystems. *Crit. Rev Biotech.*, 15: 305-311.
- Gibson A.H and Harper J.E. (1985)- Nitrate effect on nodulation of soybean by *Bradyrhizobium japonicum*. *Crop Science.*, 25: 497-501
- Gichiru M.P., Niyungeko J.N.M., Adiko A., Koffi N., Mobambo K.N., Ruhigwa B.A., and Tano Y. (2003) Soil fertility management in the lowland humid forest zone, pp

- 147-186. *In: Soil fertility management in Africa: a regional perspectives*, Gichuru et al. (Eds;), TSBF-CIAT, Nairobi (Kenya) 306 p.
- Giovannini G., Lucchesi S. and Giachetti (1990) - Effects of heating on some chemical parameters related to soil fertility and plant growth. *Soil Science*, 149 (6): 344-350.
- Giovannini G. and Lucchesi S. (1997) - Modifications induced in soil physico-chemical parameters by experimental fires at different intensities. *Soil Science*, 162 (7): 479-486.
- Goma H. H. (2003) Potential for changing traditional soil fertility management systems in the wet Miombo woodlands of Zambia: Chitemene and Fundikila systems, pp, 187-217. *In: Soil fertility management in Africa: a regional perspectives*, Gichuru et al. (Eds;), TSBF-CIAT, Nairobi (Kenya) 306 p.
- Goodding T.H. and McCalla T.M. (1945) - Loss of carbon dioxide and ammonia from crop residues during decomposition. *Soil Science Society_Proceedings*, pp.185-190.
- Grobler D.C., Toerien D.F. and Smith V.R. (1987) - Bacterial activity in soil of in Sub-Antartic Island. *Soil Biology and Biochemistry*, 19 (5) : 485-490.
- Guedon E.,Petitdemange E., Saint-Joly C. et Young M. (2000) - La dégradation de la cellulose. *Biofutur*, 196 : 32-35.
- Guinko S. (1991)- L'érosion éolienne dans le nord du Burkina Faso. *Acta Biology Benrodis*, 3 : 155-169

- Guira T (1988)- Intensification de la culture de sorgho en sol ferrugineux. Etude des effets induits des techniques culturales sur la fertilité des sols. Mémoire de fin d'études, ISN/IDR Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 96 p.
- Guissou T., Ba M.A., Guinko S., Duponnois R et Plenchette C. (1998) - Influence des phosphates naturels et de mycorhizes à vésicules et arbuscules sur la croissance et la nutrition minérale de *Ziziphus mauritiana* Lam. Dans un sol à pH alcalin. *Annales des Sciences Forestières*, 55: 925-931.
- Hedley, M. J., Hussin A. and Bolan, N. S. (1990) - New approaches to phosphorus fertilisation. Phosphorus requirements for sustainable agricultura in Asia and Oceania. Proceedings of a symposium, 6-10 March 1989.: pp. 125-142.
- Hien F.G. (1996)- Dynamique et productivité des ligneux dans la régénération des terres dégradés en milieu soudano-sahélien. Science et technique, Sciences naturelles et agronomie, 22 (2) : 36-44.
- Hillebrand W.F., Lundell G.E.F, Bright H.A and Hoffman J.I. (1953) - Applied inorganic analysis, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 1034 p.
- Hinsinger P. (2001). Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root induced chemical changes: a review. *Plant and soil.*, 237: 173-195.
- Jacquelinet-Jeanmougin S., Gianinazzi S. and Gianinazzi-Pearson V. (1986)- Influence of endomycorrhiza on the phosphate nutrition of *Gentiana lutea* L. *Mycorrhizae: physiology and genetics*, 1st ESM, Dijon, 1-5 july 1986, INRA, Paris, 1986, pp. 311-315

- Jakobsen I. (1986) - Phosphorus inflow roots of mycorrhizal and non-mycorrhizal peas under field conditions. *In Mycorrhizae: physiology and genetics 1st ESM*, Dijon 1-5 july, Ed. INRA, Paris, 1986, pp. 317-321.
- Jenkinson D.S and Powlson D.S. (1976)– the effect of biocidal treatments on metabolism in soil. V: A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 8: 209-213.
- Jenny F. (1964)- Etude agropédologique des Stations de Saria et de Farako-Bâ. Rapport IRAT/Haute Volta, 144 p.
- Jones G.D, Lutz J.A. and Smith. (1977)- Effects of phosphorus and potassium on soybean nodules and seed yield. *Agronomy Journal*, 69 : 1003-1006.
- Kambiré S. H. (1994)- Systèmes de culture paysans et productivité des sols ferrugineux lessivés du Plateau Central (Burkina Faso): Effets des restitutions organiques. Thèse en sciences de l'Environnement, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 153 p.
- Kambou N.F. (1996)- Contribution à la restauration et à la réhabilitation des sols ferrugineux superficiellement encroûtés (*Zipella*) du plateau central du Burkina (cas de Yilou, Province du Bam). Thèse de Doctorat Ingénieur, Université nationale de Côte d'Ivoire, Abidjan, 139 p.
- Kapkiyai J.J., Karanja N.K., Qureshi J.N., Smithson P.C. and Woomer L. (1999)- Soil organic matter and nutrient dynamics in a Kenyan nitisol under long-term fertilizer and organic input management. *Soil Biology and Biochemistry*, 31 (13): 1773-1782.
- Karasawa T., Arihara J. and Kasahara Y. (2000a) - Effect of previous crops on arbuscular mycorrhizal formation and growth of maize under various soil moisture conditions. *Soil Science and Plant Nutrition*, 46 (1) : 53-60.

- Karasawa T., Takebe M. and Kasahara Y. (2000b) - Arbuscular mycorrhizal (AM) effects on maize growth and AM colonisation of roots under various soil moisture conditions. *Soil Science and Plant Nutrition.*, 46(1): 61-67.
- Katayama A., Hu H-Y., Nozawa M., Yamakawa H. and Fujie K. (1998)- Long-term changes in microbial community structure in soils subjected to different fertilizing practices revealed by Quinone profile analysis. *Soil Science and Plant Nutrition*, 44 (4): 559-607.
- Keilling J. (1997)- L'Agriculture Biologique : Objectifs, Techniques et Résultats. *In* : ABCD presse, Edité par l'Agence de Développement Durable Appliqué (ADDA), Paris (France), mars 1987, pp. 1-21.
- Kimiti J.M. and Smithson P.C. (2004) - Dual inoculation of woody legumes and phosphorus uptake from insoluble phosphate rock, pp 423-432. *In*: Managing Nutrient Cycles to sustain soil fertility in Sub-Sahara Africa.. A. Bationo (Ed.), TSBF-CIAT, Nairobi (Kenya) 608 p.
- Kotterman M.J.J., Vis E.H. and Field J.A. (1998) - Successive mineralization and detoxification of benzo[a]pyrene by the white rot fungus *Bjerkandera* sp. strain Boss and indigenous microflora. *Applied and Environmental Microbiology*, 64: 2853-2858.
- Kough J.L., Gianinazzi-Pearson V. and Gianinazzi S. (1987) - Depressed metabolic activity of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi after fungicide applications. *New Phytologist*, 106: 707-715.
- Kuai L. and Vesrtraete W. (1999) - Ammonium removal by the oxygen-limited autotrophic nitrification-denitrification system. *Applied and Environmental Microbiology*, 64 (11): 4500-4506.

- Kucey R.M.N., Jansen, H. H. and Leggett M. E. (1989). Microbially mediated increases in plant-available phosphorus. *Adv. Agron.* 42: 199-223
- Kung'u J.B (2004) - Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza (VAM) inoculation on growth performance of *Senna spectabilis*, 433-446. *In: Managing Nutrient Cycles to sustain soil fertility in Sub-Sahara Africa.. A. Bationo (Ed.), TSBF-CIAT, Nairobi (Kenya) 608 p.*
- Kwesiga F.R., Franzel S., Place F., Phiri D. and Simwanza C.P (1999) - *Sebania sesban* improved fallows in eastern Zambia: Their inception, development and farmer enthusiasm. *Agroforestry Systems*, 47 (1-2): 49-66.
- Kyendrébéogo (2008)- Quatrième édition des journées économiques du Burkina Faso en France : "Investir au Burkina Faso, la porte ouverte sur le grand marché de l'Afrique de l'Ouest". Note de présentation de la situation et du potentiel économiques du Burkina Faso, 20 novembre 2008, 18 p.
- Lesueur D., Ingleby K., Odee D., Chamb4erlain J., Wilson J., Manga T.T., Sarraïl H and Pottinger A. (2001) - Improvement of forage production in *Calliandra calothyrsus*: methodology for the identification of an effective inoculum containing Rhizobium strains and arbuscular mycorrhizal isolates. *Journal of Biotechnology*, 91: 269-282.
- Lompo F. (1993)- Contribution à la valorisation de l'interaction des phosphates du Burkina Faso. Thèse de Docteur ingénieur, Université Nationale de Côte d'Ivoire, Abidjan, 247 p.
- Lundquist E.J., Jackson L.E., Scow K.M. and Hsu C. (1999) - Changes in microbial biomass and community composition, and soil carbon and nitrogen pools after incorporation of rye into three California agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 31 (2): 221-236.

- Mafongoya P.L. and Dzowela C.S. (1999) - Biomass production of tree fallows and their residual effect on maize in Zimbabwe. *Agroforestry Systems*, 47 (1-2) : 139-151
- Mark G. L., Hooker J. E., Hahn A. and Wheeler C. T. (1999)- *In vitro* culture of arbuscular-mycorrhizal fungus and Frankia for inoculation of micropropagated *Casuarina esquisefolia* L. *Canadian J. of Botany*, 77 (9): 1391-1397.
- Mcgonigle T.P. and MILLER M.H. (1993) - Mycorrhizal development and phosphorus absorption in maize under conventional and reduced tillage. *Soil Science Society American Journal*, 57 : 1002-1006.
- Mckenney D.J., Wang S.W., Drury C.F. and Findlay W.I. (1993)- Denitrification and mineralization in soil amended with legume, grass, and corn residues. *Soil Science American Society Journal*, 57 : 603-608.
- Moawad H.,Badr El-Din S.M.S. and Khalafallah M.A. (1988)- Persistence and competitiveness of three *Bradyrhizobium japonicum* strains in clay loam Nile Valley soil. *Plant and Soil*, 108: 137-141.
- Mosse B. (1973)- Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Annual review of Phytopathology*, 11: 171-196
- Moudiongui A., Ntiabose S. et Ruraduma C. (1991)- Unité de production d'inoculum pour légumineuses (UPIL) du Burundi. In Consultation d'experts sur la production et le contrôle de qualité des inoculums pour légumineuses. Rome, Italie, 19-21 mars 1991 ; 149 p.
- Muller E.B., Stouthamer A.H. and Van Verseveld H.W. (1995) - Simultaneous NH_3 oxidation and N_2 production at reduced N_2 tensions by sewage sludge subcultured with chemolithotrophic medium. *Biodegradation*, 6: 339-349.

- Munro R.C., Wilson J, Jefwa J. and Mbuthia K.W. (1999)- A low-cost method of mycorrhizal inoculation improves growth of *Acacia tortilis* seedlings in the nursery. *Forest Ecology and Management*, 113: 51-56.
- Ngamine J. (1990)- Etude des effets des inoculations dans la pratique du compostage : Appréciation de la maturité et de la valeur fertilisante des composts obtenus. Mémoire de fin d'Etudes, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 78 p.
- Ngonkeu Mangaptche E.L. et Nwaga D. (2004)- Diversité, potentiel infectueux des mycorhizes à arbuscules de quelques sols du Cameroun et réponse du niébé (*Vigna unguiculata*) à l'inoculation. *Can. J. Biol. Biochem. Sci.*, 8 (1): 56-67.
- Nicou R., Ouattara B. et Somé L. (1990) – Effets des techniques d'économie de l'eau à la parcelle sur les cultures céréalières (sorgho, maïs, mil) au Burkina faso. *Agronomie Tropicale*, 45 (1) : 43-57.
- Nwaga D., The C., Ambassa-Kiki R., Ngonkeu-Mangaptche E.L. and Tchiegang-Megueni C. (2004)- Selection of arbuscular mycorrhizal fungi for inoculating maize and sorghum growth in oxisol/utisol and vertisol in Cameroon. *In:*, Managing Nutrient Cycles to sustain soil fertility in Sub-Sahara Africa, 467-486. A. Bationo (Ed.), TSBF-CIAT, Nairobi (Kenya), 608 pp.
- Olsen J.D. (1963)- Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44(2): 322-331.
- Osunde A.O. (1992)- Response of *Gliricidia sepium* to rhizobium and VA- mycorrhizal fungi inoculation on acid soil. *In:* Interactions Plantes Microorganismes, Actes du Séminaire organisé au Dakar, Sénégal, 17-22 février 1992, Fondation Internationale pour la Science, pp.156-164.

- Ouattara B. (1994)- Contribution à l'étude de l'évolution des propriétés physiques d'un sol ferrugineux tropical sous culture: Pratiques culturales et états structuraux. Thèse de Docteur Ingénieur, Sciences du Sol, Université Nationale de Côte d'Ivoire, Abidjan 156 p
- Ouattara K. (2000)- Comportement hydrodynamique des sols ferrugineux tropicaux sous les effets du travail du sol et des apports de matière organique. DEA, Université de Cocody, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Abidjan, Côte d'Ivoire, 59 p.
- Paavolainen L. and Smolander A. (1998)- Nitrification and denitrification in soil from a clear-cut norway spruce (*Picea abies*) stand. *Soil Biology and Biochemistry*, 30 (6): 775-781.
- Pallo F., Sawadogo L. et Sédogo M.P. (2000)- Effets des feux répétés sur la teneur en azote des sols dans la région centre-ouest du Burkina Faso. *Science et Technique*, Sciences naturelles et agronomie, 24 (1) : 92-108.
- Peacock A.D., Mullen M.D., Ringelberg D.B., Tyler D.D., Hedrick D.B., Gale P.M. and White D.C. (2000)- Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate applications. *Soil Biology and Biochemistry*, 33 (7-8): 1011-1019.
- Philips J.M. and Hayman D.S. (1970) - Improved procedures for clearing root and staining parasitic vesicular-arbuscular fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of British Mycological Society*, 55: 158-161.
- Phillips C.J., Harris D., Dollhopf S.L., Gross K.L., Prosser J.I. and Paul E.A. (2000)- Effects of agronomic treatments on structure and function of ammonia-oxidizing communities. *Applied and Environmental Microbiology*, 60 (12): 5410-5418.

- Phiri A.D.K. and Kanyama-Phiri G.Y. (1999)- Maize and sesbania production in relay cropping at three landscape position in Malawi. *Agroforestry Systems*, 47 (1-2) : 153-162.
- Picasso C., Asimi S. et Dhery M. (1984)- Le soja en Haute-Volta: Résultats de la recherche et application au développement. *Oléagineux*, 39 (5): 273-279.
- Plenchette C. (1982)- Recherche sur les endomycorhizes à vésicules et arbuscules- Influence de la plante-hôte, du champignon et du phosphore sur l'expression de la symbiose endomycorhizienne. Thèse de doctorat, n° 4943, Université de Laval, Québec, 166 p.
- Plenchette C., Fortin J.A. et Furlan V. (1983)- Growth responses of several species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. *Plant and Soil*, 70: 211-217.
- Pochon J. et Tardieux P. (1962)- Techniques d'analyses en microbiologie du sol. Ed. La Tourelle, 112 p.
- Poth M. (1986)- Dinitrogen production from nitrite by a *Nitrosomonas* isolate. *Appl. Environ. Microbiol.*, 51: 957-959.
- Potthoff M., Joergensen R.G. and Wolters V. (2001) - Short effects of earthworm activity and straw amendement on the microbial C and N turnover in a remoistened arable soil after summer drought. *Soil Biol. Biochem.*, 33 (4-5): 583-591.
- Powlson D.S., Brookes P.C. and Christensen B.Ct. (1987)- Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total organic matter due to straw incorporation. *Soil Biol. and Biochem.*, 19: 159-164

- Prinčič A., Mahne I., Megular F., Paul E.A. and Tiedje J.M. (1998)- Effects of pH and oxygen and ammonium concentrations on the community structure of nitrifying bacteria from wastewater. *Applied and Environmental Microbiology*, 64 (10): 3584-3590.
- Ravolanirina F., Blal B., Gianinazzi S. et Gianinazzi-Pearson V. (1989)- Mise au point d'une méthode rapide d'endomycorhization de vitroplants. *Fruits*, 44 (3): 165-170.
- Requena N., Perez Solis, Azcón-Aguilar C., Jeffries P. and Barea J.M. (2001)- Management of indigenous plant-microbe symbiosis aids restoration of desertified ecosystems. *Appli. Environ. Microbiol.*, 67 (2): 495-498.
- Roose E. (1981)- Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux. Travaux et documents de l'ORSTOM 130, 560 p.
- Roslev P., Madsen P.L., Thyme J.B. and Henriksen K. (1998)- Degradation of phthalate di-(2-Ethylhexyl)phthalate by indigenous and inoculated microorganisms in sludge-amended soil. *Appli. Environ. Microbiol.*, 64 (12): 4711-4719.
- Ruiz-Lozano J.M., Azcon R. and Gomez M. (1995)- Effects of arbuscular-mycorrhizal glomus species on drought tolerance: Physiological and nutritional plant responses. *Applied and Environmental Microbiology*, 61 (2): 456-460
- Russell E.W. (1976)- Soil conditions and plant growth, 10th edition, Longman London, p. 238-240.
- Sawadogo H., Bock L., Lacroix D. et Zombré N.P. (2008) – Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zaï et du compost dans le Yatenga (Burkina Faso). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 12 (3) :279-290.

- Sawadogo R. et Zeidler B. (1989)- Site d'essai et de démonstration Tougou. Rapport d'activité du 1/01/1986 au 31/12/1988. PAE, 23 pp.
- Sawamoto T., Hatano R., Yajima T., Takahashi K. and Isaev A.P. (2000)- Soil respiration in Siberian Taiga Ecosystems with different histories of forest fire. *Soil Sc.Plant Nutr.*, 46(1) : 31-42.
- Scaglia J.A. (1991)- Production et contrôle de qualité des inoculums au Rwanda. *In* Consultation d'experts sur la production et le contrôle de qualité des inoculums pour légumineuses. Rome, Italie, 19-21 mars 1991 ; 149 p.
- Schnürer J., Clarholm M and Rosswall T. (1985)- Microbial biomass and activity in an agricultural soil with different organic matter contents. *Soil Biol. and Biochem.*, 17: 611-618.
- Schönbeck F. (1979) - Endomycorrhizas in relation to plant disease. *In*: Soil Borne Plant Pathogens. B. Schippers and W. GAMS (eds). Academic Press, London, pp. 271-280.
- Sédogo M. P. (1981)- Contribution à la valorisation des résidus culturaux en sols ferrugineux et sous climat semi-aride (matière organique du sol et nutrition azotée des cultures). Thèse de Docteur Ingénieur, INPL Nancy, 195 p.
- Sédogo M.P. (1993)- Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture: incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse Doctorat ès-sciences (sciences du sol), Université Nationale de Côte d'Ivoire, 332 p.
- Sertsu S.M. and Sanchez P.A (1978)- Effects of heating on changes in some properties in relation to Ethiopian land management practice. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42: 940-944.

- Sharp R. and Macfarlane G.T. (2000)- Chemostat enrichments of human feces with resistant starch are selective for adherent butyrate-producing Clostridia at high dilution rates. *Applied Environmental Microbiology*, 66 (10): 4212-4221.
- Shibahara F., Yamamuro S. and Inubushi K. (1998)- Dynamics of microbial biomass nitrogen as influenced in paddy fields. I. Fate of fertilizer and soil organic N determined by ¹⁵N tracer technique. *Soil Sc.Plant Nutr.*, 44(2) : 167-178.
- Singleton P.W., Abdelmagid H.M. and Tavares J.W. (1985)- Effect of phosphorus on the effectiveness of strains of *Rhizobium japonicum*. *Soil Sc. Soc. Am. J.*, 49: 613-618
- Singleton P.W. and Tavares J.W. (1986)- Inoculation response of legumes in relation to the number and effectiveness of indigenous Rhizobium populations. *Appli. Environ. Microbiol.*, 51: 1013-1018.
- Solaiman M.Z and Hirata H. (1996)- Effectiveness of arbuscular mycorrhizal colonization at nursery-stage on growth and nutrition in wetland rice (*Oriza sativa* L.) after transplanting under different soil fertility and water regimes. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 42(3) : 561-571.
- Somasegaran P. and Bohlool B.B. (1990)- Single-strain vs. multistrain inoculation: Effect of soil mineral availability on rhizobial strain effectiveness and competition for nodulation on chickpea, soybean and drybean. *Appl. Environ. Microbiol.*, 44 : 330-333.
- Somé A. N., Traoré K., Traoré O. Et Tassembédo M. (2007)- Potentiel des jachères artificielles à *Andropogon* spp. dans l'amélioration des propriétés chimiques et biologiques des sols en zone soudanienne (Burkina Faso). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 11 (3) : 245-252.

- Somé L. (1989)- Diagnostic agropédologique du risque de sécheresse au Burkina Faso. Etude de quelques techniques agronomiques améliorant la résistance pour les cultures de sorgho, de mil et de maïs. Thèse de Doctorat Spécialité : physiologie, biologie des organismes et des populations, Université de Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc 268 p.
- Staddon W.J., Duchesne L.C., and Trevors J.T. (1999)- The role of microbial indicators of soil quality in ecological forest management. *Forestry-Chronicle*, 75: 81-86
- Stroo H.F. and Alexander M. (1986)- Role of the soil organic matter in the effect of acid rain on nitrogen mineralization. *Soil Sc. Soc. Am. J.*, 50: 1219-1223.
- Strullu D.G. and Romand C. (1987)- Culture axénique de vésicules isolées à partir d'endomycorhizes et réassociation in vitro à des racines de tomates. *Les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 305 : 15-19
- Strullu D.G., Diop T. and Plenchette C. (1997)- Constitution of in vitro collections: a proposed life cycle of *Glomus*. *Les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 320 : 41-47.
- Tewari G.P. (1965)- Effects of nitrogen, phosphorus and potassium on nodulation in cowpea. *Exp. Agri.*, 1:257-259
- Thies J.E., Singleton P.W. and Bohlool B.B. (1991)- Influence of the size of the indigenous rhizobial populations on establishment and symbiotic of introduced rhizobia on field-grown legumes. *Appli. Environ. Microbiol.*, 57 : 19-28.

- Thiombiano L. et Dianou D. (1999)- Activité biologique globale dans trois états de surface de sols sahéliens. *Annales de l'Université de Ouagadougou*, série B, 8 : 175-187.
- Trouvelot A., Kough J. and Gianinazzi-Pearson V. (1986)- Mesure du taux de mycorhization d'un système racinaire. Recherche de méthode d'estimation ayant une
- Verstraete W. and Voets J.P. (1977)- Soil microbial and biochemical characteristics in relation to soil management and fertility. *Soil Biol. Biochem.*, 9: 253-258.
- Walkley A. and Black I.A. (1934)- An examination method of the Dedtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38
- Yé L. (2004)- Effets induits de la chaleur sur la fertilité des sols sous peuplements de karité et de néré. Mémoire de fin d'études en agronomie, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 64 pp
- Yeager C.M., Northup D.E., Grow C.C., Barns S.M. and Kuske C.R. (2005)- Changes in Nitrogen-Fixing and Ammonia-Oxidizing Bacterial Communities in Soil of a Mixed Conifer Forest after Wildfire. *Applied and Environnement Microbiologie.*, 71 (5): 2713–2722
- Zougmore R., Kambou F.N., Ouattara K. and Guillobez S. (2000)- Sorghum-cowpea intercropping : an effective technique against rainfoff and soil erosion in the Sahel (Saria, Burkina Faso). *Arid Land Research and Management*, 14: 329-342.

ANNEXES

ANNEXE I: TABLEAUX DES DONNEES

I-1- Valeurs moyennes de CO₂ dégagé journallement dans la rotation sorgho-niébé (mg C/100 g de sol

Temps d'incubation (jours)	T	fmr	fmo	fm	FMO	FM
1	1,50	2,11	2,06	2,46	3,80	2,38
2	1,27	1,90	1,66	1,90	3,17	1,87
3	0,79	0,95	0,95	0,95	1,90	0,87
4	0,48	0,79	0,79	0,71	1,47	0,71
5	0,44	0,62	0,63	0,63	0,87	0,51
6	0,37	0,48	0,48	0,59	0,69	0,48
7	0,32	0,40	0,32	0,55	0,66	0,40
8	0,40	0,32	0,28	0,40	0,48	0,29
9	0,40	0,32	0,28	0,40	0,48	0,29
10	0,44	0,32	0,24	0,24	0,28	0,21
11	0,44	0,32	0,24	0,24	0,28	0,21
12	0,20	0,28	0,16	0,20	0,24	0,20
13	0,20	0,28	0,16	0,20	0,24	0,20
14	0,20	0,16	0,16	0,16	0,20	0,16
15	0,20	0,16	0,16	0,16	0,20	0,16
16	0,13	0,13	0,16	0,16	0,16	0,16
17	0,13	0,13	0,16	0,16	0,20	0,13
18	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,13
19	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,13
20	0,12	0,12	0,13	0,08	0,12	0,12
21	0,12	0,12	0,13	0,08	0,12	0,12

I-2- Valeurs moyennes de CO₂ dégagé journallement dans la rotation sorgho-niébé (mg C/100 g de sol

Temps d'incubation (jours)	T	fmr	fmo	fm	FMO	FM
1	1,58	2,21	2,13	1,74	3,88	1,50
2	1,34	1,90	1,42	1,42	2,61	1,26
3	0,71	0,87	0,71	1,29	1,10	1,26
4	0,55	0,71	0,55	0,87	0,47	0,95
5	0,47	0,51	0,39	0,71	0,47	0,71
6	0,47	0,47	0,31	0,55	0,39	0,63
7	0,39	0,47	0,31	0,39	0,39	0,39
8	0,19	0,39	0,15	0,43	0,55	0,81
9	0,19	0,39	0,15	0,43	0,55	0,81
10	0,19	0,27	0,15	0,31	0,47	0,67
11	0,19	0,27	0,15	0,31	0,47	0,67
12	0,35	0,27	0,15	0,31	0,35	0,47
13	0,35	0,27	0,15	0,31	0,35	0,47
14	0,19	0,27	0,15	0,31	0,15	0,31
15	0,19	0,27	0,15	0,15	0,15	0,31
16	0,15	0,19	0,15	0,15	0,15	0,19
17	0,15	0,19	0,15	0,15	0,15	0,19
18	0,13	0,15	0,11	0,15	0,11	0,15
19	0,13	0,15	0,11	0,15	0,11	0,15
20	0,11	0,15	0,11	0,15	0,11	0,11
21	0,11	0,15	0,11	0,15	0,11	0,11

I-3- Activité journalière des bactéries ammonifiantes, en fonction du temps d'incubation (exprimée en nombres de tubes positifs)

Temps d'incubation (jours)	T	fmr	fmo	fm	FMO	FM	Total
1	7	5	8	3	11	12	46
2	5	9	9	7	5	6	41
3	4	4	11	6	4	3	32
4	5	8	2	3	6	6	30
5	2	4		5	0	3	14
6	7			6	4		17
Total	30	30	30	30	30	30	180

I-4- Activité journalière des bactéries amylolytiques, en fonction du temps d'incubation (exprimée en nombres de tubes positifs)

Temps d'incubation (jours)	T	fmr	fmo	fm	FMO	FM	Total
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	4	4	2	4	15
3	2	5	5	6	8	10	41
4	2	7	2	3	2	1	17
5	2	1	1	5	6	3	18
6	2	1	0	0	0	0	3
7	2	1	2	1	3	0	9
8	2	2	3	2	0	0	9
9	8	3	1	1	0	1	14
10	2	0	4	5	2	7	20
11	0	5	5	3	3	2	18
12	1	4	3		2	1	11
13	1				0	1	2
14	1				2		3
Total	30	30	30	30	30	30	30

ANNEXE II: Résultats des analyses statistiques des données

I- Nodulation et Mycorhization des plantes

I-1-Cultures en vases de végétation

I-1-1Analyse de la variance pour poids nodules, en utilisant la SC ajustée pour les tests

Source	DL	SC Séq	SC Ajust	CM Ajust	F	P
TRAIT	5	14967,7	14967,7	2993,5	3,55	0,021
Erreur	18	15159,2	15159,2	842,2		
Total	23	30126,8				

I-1-2 Analyse de la variance pour nombre nodules, en utilisant la SC ajustée pour les tests

Source	DL	SC Séq	SC Ajust	CM Ajust	F	P
trt	5	25431	25431	5086	4,64	0,002
Erreur	41	44932	44932	1096		
Total	46	70363				

1-1-3-Analyse de la variance pour l'intensité d'infection, en utilisant la SC ajustée pour les tests

Source	DL	SC Séq	SC Ajust	CM Ajust	F	P
trt	5	4003,6	4003,6	800,7	1,66	0,165
Erreur	41	19748,0	19748,0	481,7		
Total	46	23751,6				

I-1-4-Analyse de la variance pour la fréquence d'infection, en utilisant la SC ajustée pour les tests

Source	DL	SC Séq	SC Ajust	CM Ajust	F	P
trt	5	9543,1	9543,1	1908,6	2,08	0,088
Erreur	41	37650,4	37650,4	918,3		
Total	46	47193,5				

I-2- (cultures au champ)

I-2-1- Analyse de la variance pour l'intensité d'infection, en utilisant la SC ajustée pour les tests (modèle linéaire généralisé du test ANOVA)

Source	DL	SC Séq	SC Ajust	CM Ajust	F	P
TRT	11	2013,8	2013,8	183,1	1,58	0,161
Erreur	27	3123,9	3123,9	115,7		
Total	38	5137,7				

I-2-2- Analyse de la variance pour la fréquence d'infection, en utilisant la SC ajustée pour les tests (modèle linéaire généralisé du test ANOVA)

Source	DL	SC Séq	SC Ajust	CM Ajust	F	P
TRT	11	6002,6	6002,6	545,7	0,85	0,591
Erreur	27	17233,3	17233,3	638,3		
Total	38	23235,9				

II- Test Respirométrique

II-1- Analyse de la variance pour la différence d'intensité respiratoire due à la rotation

Source	DL	SC Séq	SC Ajust	CM Ajust	F	P
rot	1	44,53	44,53	44,53	2,00	0,167
Erreur	34	758,73	758,73	22,32		
Total	35	803,26				

Moyennes issues des moindres carrés

rang	Moyenne	p
sorgho-sorgho	16,14	0,167
sorgho-niébé	18,37	

II-2- Analyse de la variance pour l'effet global de la matière organique sur l'intensité respiratoire

Source	DL	SC Séq	SC Ajust	CM Ajust	F	P
trait	3	274,72	274,72	91,57	5,54	0,004
Erreur	32	528,55	528,55	16,52		
Total	35	803,26				

Moyennes issues des moindres carrés

	Sorgho-sorgho	Sorgho-niébé	p
MO(-)	13,77	18,51	0,047
MO(+)	15,69	21,05	0,004

II-3- Analyse de la variance de la biomasse-C dans la rotation sorgho-sorgho

Source	DL	SC Séq	SC Ajust	CM Ajust	F	P
trt	5	205,254	205,254	41,051	116,83	0,000
Erreur	11	3,865	3,865	0,351		
Total	16	209,119				

Moyennes issues des moindres carrés pour les traitements

	Moyenne	Groupes d'homogénéité
T	5,878	a
fmr	9,642	b
fmo	10,857	b
fm	4,729	a
FMO	13,804	c
FM	4,670	a

II-4- Analyse de la variance de la biomasse-C dans la rotation sorgho-niébé

Source	DL	SC Séq	SC Ajust	CM Ajust	F	P
trt	5	63,709	63,709	12,742	35,07	0,000
Erreur	11	3,997	3,997	0,363		
Total	16	67,706				

Moyennes issues des moindres carrés

	Moyenne	Groupes d'homogénéité
T	5,290	a
fmr	7,936	b
fmo	6,638	a
fm	7,792	b
FMO	11,766	c
FM	7,491	b

II-5- Analyse de la variance de la biomasse dans la rotation sorgho-sorgho (effet matière organique)

Source	DL	SC Séq	SC Ajust	CM Ajust	F	P
OM	1	175,68	175,68	175,68	78,79	0,000
Erreur	15	33,44	33,44	2,23		
Total	16	209,12				

Moyennes issues des moindres carrés

	Moyenne
Sans apport de OM	4,99
Avec apport de OM	11,43

II-6- Analyse de la variance de la biomasse dans la rotation sorgho-niébé, en utilisant la SC ajustée pour les tests (effet matière organique)

Source	DL	SC Séq	SC Ajust	CM Ajust	F	P
OM	1	12,628	12,628	12,628	3,44	0,083
Erreur	15	55,078	55,078		3,672	
Total	16	67,706				

Moyennes issues des moindres carrés

	Moyenne
Sans apport de MO	7,05
Avec apport de MO	8,78

II-7- Analyse de la variance de la biomasse, en utilisant la SC ajustée pour les tests (Effet rotation)

Source	DL	SC Séq	SC Ajust	CM Ajust	F	P
rot	1	2,356	2,356	2,356	0,28	0,601
Erreur	33	278,956	278,956	8,453		
Total	34	281,312				

Moyennes issues des moindres carrés pour la biomasse sorgho-sorgho et sorgho-niébé

Moyenne

Rotation sorgho-sorgho 8,40

Rotation sorgho-niébé 7,88

III- Effet du traitement thermique sur le sol

III-1-Effets de la température sur les caractéristiques chimiques et le pH des sols de l'essai entretien de la fertilité de Saria

Source de variation	DL	C organique	N total	C/N	P assimilable	pH eau
		-----F-----				
Fumure	5	4008**	965**	9,59**	3,25*	221**
Température	1	64,61**	0,17	10,49**	0,93	11,54**
Erreur	17					
Total						

Les valeurs de F suivies d'un astérisque sont significatives au seuil 5%, celles de deux astérisques sont significatives au seuil 1 p.c.

III-2-Effets de la température sur les caractéristiques chimiques des sols de Saponé et de Saria

Variable : pH eau

Libellé	Saponé VP		Saponé PB			Saria	
	Sous-ensemble pour alpha = 0,05		Sous-ensemble pour alpha = 0,05			Sous-ensemble pour alpha = 0,05	
	1	2	1	2	3	1	2
T	6,84		5,61			5,91	
120	6,79			5,78			6,34
150	6,66				5,96		6,39
180		6,45		5,81	5,81		6,26
Signification	0,61	1,000	1,000	0,689	0 ,051	1,000	0,238

Test de Duncan au seuil 5 p.c.

Variable : carbone organique

Libellé	Saponé VP		Saponé PB	
	Sous-ensemble pour alpha = 0,05		Sous-ensemble pour alpha = 0,05	
	1		1	
T	0,92		0,65	
100	0,89		0,60	
120	0,92		0,59	
150	0,91		0,66	
180				
Signification	0,806		0,091	

Test de Duncan au seuil 5 p.c.

Variable : Phosphore assimilable

Libellé	Saponé VP		Saponé PB		Saria	
	Sous-ensemble pour alpha = 0,05		Sous-ensemble pour alpha = 0,05		Sous-ensemble pour alpha = 0,05	
	1	2	1	2	1	2
T	1,94		1,85	1,85	2,43	
100	2,16		1,71		2,52	
120		2,54	1,71		2,71	
150		2,75		1,92		3,16
180						
Signification	0,157	0,177	0,131	0,467	0,217	1,000

Test de Duncan au seuil 5p.c.

III-3-Effet de la température sur l'activité biologique des sols

Variable : Quantité totale de C-CO₂ dégagé après 21 jours d'incubation

Libellé	Saponé VP		Saponé PB			Saria		
	Sous-ensemble pour alpha = 0,05		Sous-ensemble pour alpha = 0,05			Sous-ensemble pour alpha = 0,05		
	1	2	1	2	3	1	2	3
T	54,69		32,48			16,69		
100	61,51		38,95	38,95		27,17	27,17	
120	64,86			42,03			31,20	31,20
150		89,58			50,58			38,79
180								
Signification	0,386	1,000	0,084	0,404	1,000	0,115	0,391	0,110

Test de Duncan au seuil 5 p.c.

III-4-Effet de la température sur la production de biomasse du niébé dans l'essai entretien de la fertilité de Saria (Méthode des contrastes)

Traité vs non traité	Non traité	Traité	Df	Résiduel	F	P
Racines	194,1	265,1	1	46	13,93	0,0005
(poids sec)	1026,2	1415,8	1	46	41,19	0,0001
Tiges (poids sec)						

III-5-Effet de la température sur la production de biomasse du sorgho dans l'essai entretien de la fertilité de Saria

Source de variation	DL	MSA	MSR	MST
		-----F-----		
Rotation	1	1,34	2,42	1,34
Fumure	5	7,22**	5,60**	7,22**
Température	1	30,60**	25,61**	30,60**
Rot*Fum	5	2,41	4,28*	2,41
Rot*Temp	1	7,49*	6,35*	7,49*
Fum*Temp	5	3,75*	3,52*	3,75*
Rot*Fum*Temp	5	2,60	4,58*	2,60
Erreur	24			
Total				

Les valeurs de F suivies d'un astérisque sont significatives au seuil 5%, celles de deux astérisques sont significatives au seuil 1 p.c.

III-6-Effet de la température sur la teneur en N et P du sorgho dans l'essai
entretien de la fertilité de Saria

Source de variation	DL	P (tige)	N (tige)	P (racine)
-----F-----				
Température	1	13,29**	4,38	0,14
Rotation	1	1,42	1,94	0,00
Fumure	5	0,49	0,59	1,23
Erreur	16			
Total	23			

Les valeurs de F suivies d'un astérisque sont significatives au seuil 5 p.c., celles de deux astérisques sont significatives au seuil 1 p.c.

III-7-Effet de la température sur la production de biomasse du sorgho à Saponé et Saria

Libellé	Saponé VP			Saponé PB			Saria
	Sous-ensemble pour alpha = 0,05			Sous-ensemble pour alpha = 0,05			Sous-ensemble pour alpha = 0,05
	1	2	3	1	2	3	1
T	402,21					262,00	369,25
100	657,25	657,2		157,06			291,08
120		5		150,06			280,69
150		773,6	1358,8		206,38		269,33
180		7	3				
Signification	1,000	1,000	0,073	0,337	0,087	1,000	0,062

Test de Duncan au seuil 5 p.c.