

47

7
Ism
Ism

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

90148

Faculté des Sciences et Techniques

Institut des Sciences de l'Environnement



Mémoire de DEA en Sciences de l'Environnement

**STATUT ORGANIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DES SOLS
DANS DES SYSTEMES AGROFORESTIERS ET A JACHERE
DU SENEGAL**

Présenté par

Ndèye Yacine BADIANE (épouse NDour)

Soutenu le 23 Mai 1998 devant le jury :

Président : **Pr Amadou Tidiane BA, Directeur ISE**

Rapporteur : **Dr François MATTY, Assistant ISE (UCAD)**

Membres : **Dr Aminata NIANE BADIANE, Chercheur ISR**
Dr Jean Luc CHOTTE, Chargé de recherche ORSTOM
Dr Séga SOUMARE, Maître assistant UCAD

Fonds Documentaire ORSTOM



010016495

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote : **AX-16495** Ex :

DEDICACE

A ma fille Ndéye Ngénar Ndour.

A mon mari Ibrahima Ndour.

A toute la famille Badiane et Ndour.

AVANT - PROPOS

Ces travaux ont été réalisés au laboratoire de Bio-Pédologie de L'ORSTOM à Dakar, dans le cadre du programme «Gestion des composantes biologiques de la fertilité des terres en zones de savanes».

J'exprime toute ma gratitude au professeur A. T. BA Directeur de l'Institut des Sciences de l'Environnement d'avoir accepté de présider la commission d'examen.

J'adresse mes sincères remerciements :

- au Dr F. MATTY enseignant à l'Institut des Sciences de l'Environnement d'avoir participé à l'encadrement de ce travail.

- au Dr J. L. CHOTTE responsable du laboratoire de Bio-Pédologie pour son accueil. Je lui témoigne toute ma gratitude pour m'avoir insérée au sein de son équipe de recherche, et de n'avoir ménagé aucun effort pour que mon apprentissage dans le monde scientifique soit le plus parfait possible.

- à Monsieur J. FARDOUX technicien au laboratoire de Bio-Pédologie d'avoir accepté la lourde tâche de former une débutante aux techniques d'analyses de laboratoire.

- à Messieurs O. FAYE, et V. GUILLOTIN pour l'aide qu'ils m'ont apportée lors de mes travaux.

- aux Dr P. CADET et C. VILLENAVE pour leur accueil toujours bienveillant.

- à tout le personnel du laboratoire de Nématologie, et plus particulièrement aux étudiants ND. FAYE et M. TH. DIOP, pour leur soutien moral et leur disponibilité.

Mes remerciements vont également à l'endroit de tous nos collaborateurs de l'ISRA et du programme jachère ORSTOM, particulièrement à :

- Messieurs M. DIONE (ISRA Dahra), B. NDOUR (ISRA Bambey), P. SALL (DRPF), M. DIATTA (ISRA Kaolack), et R. MANLEY (programme jachère ORSTOM).

SOMMAIRE

Introduction	4
Chapitre 1 : Présentation du milieu d'étude	8
I. Les systèmes à jachère	9
I.1. Saré Yorobana	9
I.2. Sonkorong	10
II. Les systèmes agroforestiers	10
II.1. Bandia	10
II.2. Fintel Sombe	10
II.3. Dahra	11
Chapitre 2 : La matière organique des sols tropicaux : le bilan carboné	12
I. Définition de la matière organique	12
II. Les différentes composantes de la matière organique	12
II.1. La matière organique à divers stades de décomposition	12
II.1.1. La fraction organique libre	12
II.1.2. La fraction organo - minérale	12
II.2. La fraction vivante : les micro-organismes du sol	13
II.2.1. Définition	13
II.2.2. Facteurs contrôlant l'activité microbienne	13
II.2.2.1. Influence de la température et de l'humidité	13
II.2.2.2. Action de la composition de la litière	14
III. Le bilan carboné des sols tropicaux : processus d'humification et de minéralisation de la matière organique.	15
Chapitre 3 : Méthodologie	18
I. Dispositifs expérimentaux	18
I.1. Les systèmes à jachère	18
I.1.1. Saré Yorobana	18

I.1.2. Sonkorong	19
I.2. Les systèmes agroforestiers	19
I.2.1. Bandia	19
I.2.2. Fintel Sombe	20
I.2.3. Dahra	20
II. Les paramètres étudiés	21
II.1. Les systèmes à jachère	21
II.2. Les systèmes agroforestiers	21
III. Echantillonnage	22
III.1. Les systèmes à jachère	22
III.2. Les systèmes agroforestiers	22
IV : Les paramètres mesurés	22
IV.1. Biomasse microbienne totale	22
IV.2. Carbone et azote organiques	23
IV.2.1. Carbone organique	23
IV.2.1. Azote organique	23
V. Méthodes d'interprétation mathématique	23
V.1. Traitement des données	23
V.2. Analyses statistiques	23
Chapitre 4 : Résultats	25
I. Les systèmes à jachère	24
I.1. La Biomasse microbienne totale	24
I.1.1. Saré Yorobana	24
I.1.2. Sonkorong	25
I.2. Carbone et azote organiques	26
I.2.1. Saré Yorobana	26
I.2.2. Sonkorong	27
II. Les systèmes agroforestiers	28
II.1. La Biomasse microbienne totale	28
II.1.1. Bandia	28
II.1.2. Fintel Sombe	29
II.1.3. Dahra	30
II.2. Carbone et azote organiques	32
II.2.1. Bandia	32
II.2.2. Fintel Sombe	33

II.2.3. Dahra	34
Chapitre 5 : Discussion	36
I. Effet de la culture sur le statut microbiologique et organique du sol	36
II. Rôle de l'arbre dans les systèmes agraires sahéliens et sahélo - soudaniens	36
II. 1. Influence de divers types d'acacias sur le statut microbiologique et organique du sol	36
II.2. Le transfert de fertilité arbre - cultures associées	36
III. Effet des symbioses racinaires sur le statut microbiologique et organique du sol.	37
III.1. La symbiose <i>Rhizobium</i> - <i>Acacia</i>	37
III.2. Effet de la La mycorhization	37
IV. Jachère et statut organique des sols	38
V. Effet de la fumure organique	38
Conclusion et suggestions	39
Références bibliographiques	40
Liste des illustrations	46
Annexes	

INTRODUCTION

Les systèmes agricoles sénégalais comme ceux de la plupart des pays de l'Afrique subsaharienne ont connu de nombreux bouleversements durant ces dernières décennies, sous l'effet de la sécheresse, et des changements du mode de gestion des terres. Le mode d'exploitation traditionnel a subi de profondes mutations liées à l'augmentation de la pression démographique et à l'ouverture de l'économie monétaire (cultures d'exportations). Pelissier (1966) estime que l'introduction de l'arachide a eu comme conséquence l'extension du territoire cultivé au détriment de l'espace sylvo - pastoral ; la rotation triennale arachide - céréales - jachère se substitue à la succession céréales - jachère parquées qui était réalisée en système paysan serreer. Par ailleurs, les études réalisées dans le Bassin arachidier et dans la région de Casamance (Pieri, 1989) ont montré que la forte pression foncière a entraîné une extension de l'espace agricole (défrichement intensif des forêts et mise en culture de zones marginales). Les jachères sont de plus en plus rares dans les zones à forte densité de population. La restitution de la matière organique pour le maintien ou la restauration de la fertilité des sols a fortement diminué. Le problème essentiel de l'emploi des résidus organiques réside dans leur disponibilité. Les résidus de cultures sont utilisés en priorité pour le fourrage et pour les usages domestiques (combustible, clôture). Les déjections animales sont également utilisées comme combustible. Le parcage à la parcelle ne concerne plus que 15 % des superficies agricoles (Berger, 1991). Il n'est pratiqué que dans les champs situés à proximité immédiate des villages. Dans une telle situation Pieri (1989) estime que la fertilité des terres cultivées ne peut être conservée avec les jachères de moyenne durée qui ne sont plus pratiquées et des exportations par les cultures qui ne sont pas compensées.

Cette mauvaise gestion des ressources organiques a entraîné une dégradation des sols cultivés. On assiste alors à une baisse du niveau de fertilité des sols et une à diminution des rendements agricoles. Selon Siband (1974) cette baisse de fertilité sur les sols sableux est imputable à la chute de la teneur en matière organique, et à la dégradation des propriétés physiques des sols qu'elle occasionne. Or pour subvenir aux besoins alimentaires futurs, il faudra nécessairement un relèvement des rendements agricoles. Cette accroissement des rendements nécessite la mise en oeuvre de techniques permettant de combler les quantités d'éléments nutritifs exportés par les cultures.

De nombreuses études (Swift, 1984, 1987 ; i.e. Pieri, 1989 ; Feller 1994), proposent la matière organique comme indicateur de la régénération des sols en raison de son influence sur les propriétés chimiques, physiques et biologiques. Selon ces auteurs le maintien de la fertilité des sols passe par une gestion du stock de matière organique. A l'heure actuelle deux techniques sont proposées pour la restitution de la matière organique.

- La gestion des résidus organiques de la ferme

Il s'agit des résidus que l'on trouve au sein d'une exploitation agricole :

* Les résidus de culture

Constitués essentiellement par les pailles de céréales et les fanes d'arachides et de niébé, les résidus des céréales représentent la principale ressource organique (Berger, 1991). Cependant le problème se pose quant à la bonne valorisation de ces produits. Selon Guiraud (1984) ils peuvent entraîner une diminution des quantités d'azote minéral du sol lorsqu'ils sont appliqués sans transformation préalable. En effet les micro-organismes utilisent l'azote minéral du sol pour dégrader ces composés riches en carbone ($C/N > 30$). Parmi les solutions, le compostage permet d'éviter cet inconvénient. Quant à l'utilisation des fanes pour l'alimentation du bétail, elle permet de garder plus longtemps le troupeau sur l'exploitation et de mieux valoriser les autres résidus (déjections animales).

* Les déjections animales.

Les animaux accélèrent les processus de décomposition des résidus de culture qu'ils consomment. Ces résidus subissent des transformations importantes au cours du transit intestinal, aboutissant à un enrichissement en azote des composés excrétés et donc une diminution du C/N qui atteint des valeurs proches de 10 dans les fèces (Landais *et al.*, 1991). Ces déjections animales dépendent pour une large part de la qualité du fourrage et des saisons. C'est ainsi que pour une même espèce, la teneur en azote varie comme celle du régime alimentaire : très faible en saison sèche, elle augmente brutalement en début de saison des pluies, puis diminue progressivement jusqu'en décembre - janvier. Mais la résolution du problème de la baisse de la fertilité par l'apport de fumier reste encore incomplète. Pour Godet (1990) l'effectif en bétail et la disponibilité en paille ne peuvent satisfaire les besoins des paysans. Il faudra alors nécessairement accroître la production animale et celle de la paille. Ceci n'est possible que par une augmentation de la production des pâturages naturels, ou par le développement de la culture fourragère (César et Coulibaly, 1991).

- La gestion de l'arbre dans les terroirs villageois.

Il s'agit essentiellement de l'agroforesterie et des systèmes à jachère.

* Les systèmes à jachère

L'importance de la jachère dans les systèmes de production a été démontrée par de nombreuses études. Les travaux de L'Institut de Recherche du Coton et des Textiles exotiques (IRCT) montrent que des jachères, mêmes courtes (2 à 3 ans) réduisent le taux de perte de la matière organique (Pieri, 1989). Mais les durées proposées pour la restauration de la fertilité des sols (10 à 15 ans), s'avèrent impossible à réaliser à cause de la forte pression anthropique (Laudelout et Van Bladel, 1967). Parmi les solutions proposées, la mise en défens ou l'introduction d'espèces ligneuses exotiques à croissance rapide ou de légumineuses arbustives

semblent prometteuses (César et Coulibaly, 1991 ; Dupuy *et al.*, 1991). Ces techniques sont à l'heure actuelle testées dans la région de Kolda (Saré Yorobana) et dans le département de Nioro du Rip (Thyssé Kaymor).

* Les systèmes agroforestiers

L'Agroforesterie consiste à associer l'arbre aux cultures. L'arbre a toujours joué un rôle important dans les systèmes agraires sahéliens et soudano-sahéliens (Pelissier, 1966). Il assure le transfert de fertilité des couches profondes du sol vers les couches de surface (Peltier, 1991). Cependant, la plupart des parcs agroforestiers du Sénégal ont été dégradés. Des études faites par Godet (1991) dans le bassin arachidier montrent que l'augmentation des surfaces cultivées a entraîné une réduction considérable des formations ligneuses de la zone. Certaines institutions comme l'Institut Sénégalais de Recherche Agricole par le biais de l'agroforesterie tentent d'apporter des solutions à ce problème. Ainsi des parcs à arbres fixateurs d'azote (légumineuses), associés à différents traitements comme l'inoculation de *Rhizobium* ou de mycorhizes, l'apport de matière organique ou la présence de cultures associées sont actuellement testés dans le Bassin arachidier et dans la région du Fleuve Sénégal. Le rôle améliorant de ces légumineuses (acacias) est dû surtout à leur capacité à transférer l'azote fixé aux cultures conduites en association ou après défriche des parcs (Badiane, 1993).

L'azote représente l'un des principaux facteurs limitant la production agricole en zone tropicale (Sanchez, 1976). Pieri (1991) estime que son bilan est négatif dans la plupart des systèmes culturaux actuellement en usage en Afrique de l'Ouest, le déficit moyen annuel atteignant $25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$. Cependant il représente l'élément principal pour la nutrition minérale des plantes. Pour la plupart des plantes cultivées il est assimilé sous forme de nitrates (NO_3^-). Or cette forme ne représente qu'un faible pourcentage de l'azote présent dans le sol ; la plus grande partie de l'azote (98 %) est stabilisée dans la matière organique, donc inaccessible aux plantes (Ssali *et al.*, 1986). Les nitrates sont libérés à l'issue d'une oxydation biologique des composés organiques du sol. Les micro-organismes du sol, principalement représentés par les bactéries, les champignons, et les actinomycètes, sont les agents responsables de ces transformations. L'activité de ces micro-organismes et leur répartition dépendent du potentiel hydrique et de la concentration en carbone qu'ils peuvent assimiler (Chotte *et al.*, 1995). Ils constituent par eux mêmes une part non négligeable de la matière organique du sol (5 à 10 %). L'évaluation de la fertilité azotée d'un sol devient alors indispensable dans le but de faire un diagnostic de l'état du milieu et de prévoir son évolution. Cette évaluation nécessite une connaissance du stock de matière organique, des acteurs biologiques et des formes d'azotes disponibles dans le sol.

L'estimation de la biomasse microbienne, nous permet de chiffrer les quantités de micro-organismes présents dans le sol. De nombreuses méthodes ont été proposées pour la mesure de

la biomasse microbienne. Parmi les différentes techniques disponibles (Nicolardot *et al.*, 1982) la méthode de fumigation - extraction préconisée par Amato et Ladd (1988) est la plus courante. Elle permet d'accéder au compartiment microbien du sol c'est à dire aux quantités de carbone présent dans la biomasse microbienne.

Notre sujet intitulé "Statut organique et microbiologique des sols dans des systèmes agroforestiers et à jachère du Sénégal" porte sur l'évaluation du potentiel microbiologique et organique du sol dans deux systèmes de cultures :

- les systèmes à jachère implantés dans les régions de Kolda (Saré Yorobana) et de Kaolack (Sonkorong),
- et les systèmes agroforestiers implantés dans les régions de Thiès (Bandia), Diourbel (Fintel Sombe), et Louga (Dahra).

Nous nous proposons de déterminer l'impact de ces systèmes de cultures sur la biomasse microbienne totale, le carbone et l'azote organiques du sol. L'objectif est de comparer les différents modes de gestion de la matière organique qui ont été proposés, afin de déterminer ceux qui permettront de maintenir voire d'améliorer les statuts microbiologique et organique du sol.

Chap.1 : PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE

Le Sénégal est localisé à la pointe ouest du continent Africain. Il est situé entre les parallèles 12°30' et 16°30' nord, et les méridiens 11°30' et 17°30' ouest. Cette situation en latitude place le pays au coeur du domaine intertropical. Il est caractérisé par un climat de type tropical avec alternance d'une saison sèche longue (7 à 9 mois), avec une saison humide (3 à 5 mois) suivant les régions et une diminution du volume pluviométrique du sud au nord et d'est en ouest (cf. Fig.1). C'est un pays plat (plaines et plateaux) où les altitudes sont inférieures à 130 m à l'exception du sud-est du pays. Le faciès des sols change du Nord au Sud en fonction du climat et des caractéristiques de la roche mère. Suivant l'importance des précipitations nous pouvons distinguer plusieurs zones climatiques.

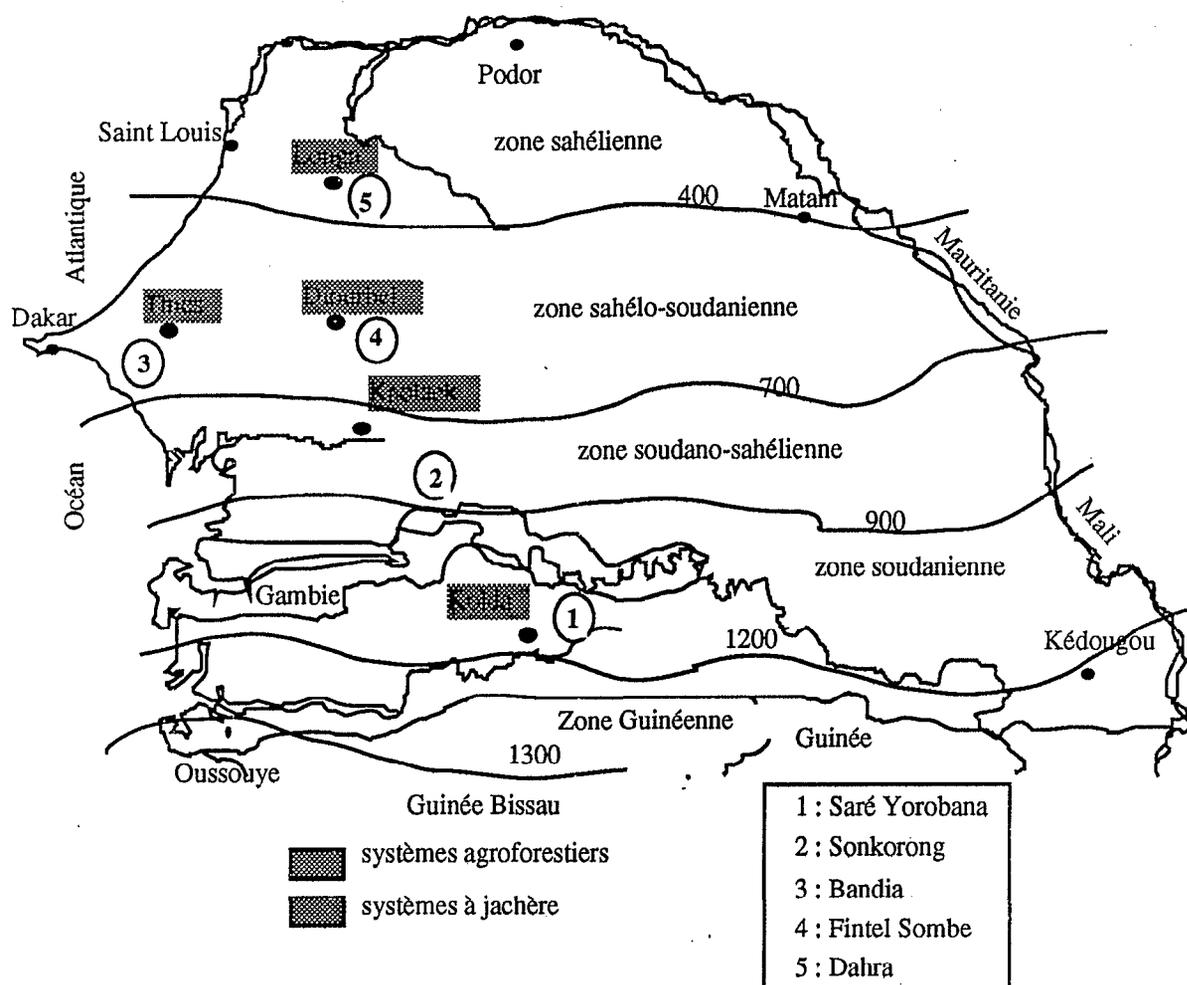


Figure 1 : Carte des isohyètes (1951-1980) et localisation des sites d'étude au Sénégal. L'intervalle 1951-1980 est un compromis entre périodes d'humidité et de sécheresse et représente donc la pluviométrie normale du pays (carte établie par Krigeage, ORSTOM, Dakar)

Particularité des Sites étudiés

Au plan écologique les sites étudiés se situent le long d'un transect sud - nord allant de la zone soudanienne (1200 mm an⁻¹) à la zone sahélienne (300 à 400 mm an⁻¹).

2 systèmes de cultures ont été choisis dans ces sites :

- les systèmes à jachère, situés dans la zone soudanienne et soudano - sahélienne.
- et les systèmes agroforestiers, situés dans les zones sahélienne et sahélo - soudanienne.

I. Les systèmes à jachère

Ils sont localisés dans les villages de Saré Yorobana et de SonKorong.

I.1. Saré Yorobana

Le village de Saré Yorobana est situé dans l'arrondissement de Dioulacolon au sud - est de la région de Kolda. La région de Kolda est limitée au nord par la Gambie, au Sud par la Guinée Bissau à l'est par la région de Tambacounda et à l'ouest par le Soungrougou et le Singger (affluents du fleuve Casamance). Elle est soumise à un climat de type soudanien caractérisé par une saison sèche de novembre à mai et une saison pluvieuse de fin mai à octobre. C'est l'une des régions les plus pluvieuses du Sénégal avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1000 à 1200 mm. La température moyenne est d'environ 25 °C avec un maximum de 32 °C en mai. La végétation naturelle est une zone boisée, domaine de la forêt de savane. Elle est caractérisée par une forêt de type soudano-guinéenne, représentée par des espèces à *Cordyla africanus*, *Pterocarpus erianaceus* avec sous bois à *Combretum geitonophyllum* et parfois à *Khaya senegalensis*, *Acacia ataxacantha* Le tapis herbacé est essentiellement constitué d'*Andropogon gayanus*, d'*Andropogon tectonus* de *Cymbopogon* et de *Pennisetum pedicellatum*.

Notre secteur d'étude est caractérisé par :

- des plateaux occupés par des formations très boisées mités par des clairières, des champs et des jachères à *Terminalia macroptera*, *Combretum geitonophyllum* et *Combretum glutinosum*.
- des glacis occupés essentiellement par des cultures voient se succéder de la périphérie vers le centre du village : la forêt claire, une première ceinture de jachères plus ou moins anciennes constituées d'une végétation de transition semblable à celle décrite précédemment, une deuxième ceinture de champs de brousse aux allures de parcs contenant quelques grands arbres, et enfin les champs de case. Les sols sont de type ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions sur grès sablo - argileux, (Maignien, 1965).

I.2. Sonkorong

Le village de Sonkorong est situé dans la communauté rurale de Kaymor, dans le département de Nioro du Rip, au sud - est de la région de Kaolack. C'est une zone qui est située à l'est de la rive du Bao Bolong. Le climat est de type soudano - sahélien avec une saison des pluies de juin

à octobre et une saison sèche de novembre à mai. Les pluies y sont moins importantes qu'à Kolda (700 à 900 mm an⁻¹) mais sont souvent très violentes. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 28 °C avec un maximum de 40 °C aux mois d'avril et de mai. La végétation naturelle est caractérisée par les arbustes d'origine soudano - sahélienne dominés par *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Khaya senegalensis*, *Cordyla pinnata*, *Lannea acida*, *Pterocarpus eranaceus* et *Acacia seyal*. Des espèces plus hydrophiles d'origine soudanienne comme *Daniellia oliveri*, *Sterculia setigera* et *Terminalia macroptera* sont en régression (Niang, 1995). Les sols sont de type ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions sur grès sablo - argileux (Maignien, 1965).

II. Les systèmes agroforestiers

II.1. Bandia

Bandia est localisé dans le département de Mbour dans la région de Thiès, au sud - ouest du bassin arachidier. C'est une région caractérisée par un climat de type sahélo - soudanien avec une saison des pluies de juin à octobre, et une saison sèche allant de novembre à fin juin. La pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 400 mm et 700 mm. La végétation naturelle est caractérisée par une formation assez basse, faite souvent d'arbres grêles mais très denses, dont l'élément dominant est *Acacia seyal*. On note également la présence d'espèces de la forêt primitive, baobabs (*Adansonia digitata*), et caïcedrats (*Khaya senegalensis*). Le tapis arbustif est essentiellement dominé par la présence de *Combretum micranthum*. Les sols sont de type ferrugineux tropicaux faiblement lessivés (Maignien, 1965).

II.2. Fintel Sombe

Le village de Fintel Sombe est localisé dans la région de Diourbel, située au centre du Sénégal. C'est une région caractérisée par un climat de type sahélo - soudanien, avec une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 400 mm et 700 mm. L'arbre caractéristique de cette zone est aujourd'hui *Acacia albida*. D'autres arbres typiquement sahéliens comme le *Balanites aegyptiaca*, l'*Acacia senegal*, et l'*Acacia seyal* sont également présents. Le tapis arbustif est composé d'espèces comme *Guiera senegalensis* et quelques combrétacées représentés par le *Combretum micranthum*. Les sols sont de type ferrugineux tropicaux faiblement lessivés sur sable siliceux (Maignien, 1965).

II.3. Dahra

Dahra se trouve dans le département de Linguère, dans la région de Louga située au centre nord du Sénégal. C'est une région caractérisée par un climat de type sahélien avec une longue saison sèche (9 mois), et une moyenne annuelle des précipitations variant entre 300 et 400 mm.

Beaucoup plus que la faiblesse de ces précipitations annuelles, il faut surtout mettre en lumière l'irrégularité dramatique des pluies d'une année à l'autre, et la redoutable incertitude de leur répartition. La végétation naturelle est marquée par une zone de savane inégalement arborée. On note parfois l'émergence de survivants de la forêt soudanienne, tels que *Adansonia digitata* et *Ceiba pentandra*. Ces peuplements sont d'autre part très généralement armés d'épineux comme *Balanites aegyptiaca*, parfois *Acacia senegal* (espèce en régression), et le plus souvent *Acacia seyal*. Le tapis arbustif ou buissonnant est constitué par les combrétacées comme le *Combretum glutinosum*. Les sols sont de type ferrugineux tropicaux faiblement lessivés (Maignien, 1965).

Chap. 2 : LA MATIERE ORGANIQUE DES SOLS TROPICAUX : LE BILAN CARBONE

I. Définition de la matière organique

La matière organique du sol est constituée par l'ensemble des substances biologiques d'origine végétale et animale présentes dans le sol.

II. Les différentes composantes de la matière organique

La matière organique peut être divisée en deux fractions : les micro-organismes vivants du sol, et la matière organique à divers stades de décomposition.

II.1. La matière organique à divers stades de décomposition

II.1.1. La fraction organique libre

La fraction organique libre représente la matière organique fraîche formée de débris végétaux de toute nature, qui se superposent au sol minéral (litières forestières), ou lui sont incorporés (milieux cultivés). C'est une fraction peu ou pas humifiée à C/N élevé (> à 20) (Feller, 1979). L'apport annuel de litière lors de la chute des feuilles renouvelle périodiquement le stock de matière organique fraîche existant en surface dans les zones forestières. Dans les sols cultivés, cet apport de matière organique fraîche dépend principalement de l'homme : les résidus de récoltes et les amendements organiques divers, remplacent la litière. Dans ces sols, la décomposition de la matière organique est activée par l'enfouissement et le travail du sol : les sols cultivés ont vu leur teneur en matière organique diminuer de plus de la moitié en quelques années (Duchaufour, 1991).

La biodégradation de cette fraction entraîne une libération d'énergie et d'éléments minéraux.

II.1.2. La fraction organo - minérale

La fraction organo - minérale est représentée par des molécules organiques adsorbées aux éléments fins du sol (argiles, limons), dont l'ensemble forme le complexe argilo - humique. Elle correspond ainsi à la fraction de la matière organique la plus résistante à la biodégradation. Son rapport C/N est généralement voisin de 10. Selon Feller (1979), 50 à 80 % du carbone d'un sol sableux se trouve dans la fraction organo-minérale et le reste dans la fraction organique libre.

Cette fraction de la matière organique joue un rôle important sur les propriétés physiques et chimiques des sols et notamment sur la stabilité structurale (rôle de liant) et le pouvoir d'échange ionique. Pieri (1989) estime que si l'on considère la dynamique interne du bilan carboné d'un sol, la fraction organo - minérale qui a un taux de renouvellement plus faible que les autres

fractions (fraction organique libre, biomasse organique) est en quelque sorte garant de la stabilité architecturale du sol.

II.2. La fraction vivante : les micro-organismes du sol (biomasse microbienne).

II.2.1. Définition

La biomasse organique notée "carbone biomasse" correspond à la population de micro-organismes hétérotrophes (bactéries, champignons et actinomycètes) dont l'activité va régler l'essentiel des échanges entre les deux sous - compartiments précédents, et avec l'extérieur. Elle représente 2 à 3 % du stock total de carbone et 3 à 5 % de celui en azote du sol (Feller, 1979).

- Les bactéries

Elles prolifèrent dans les milieux les plus riches en azote, et peu acides ; elles sont surtout abondantes autour des racines de certaines plantes (graminées, légumineuses), au sein de la rhizosphère. La plupart sont hétérotrophes et saprophytes. Elles jouent un rôle important dans l'évolution des éléments fondamentaux du sol, azote, soufre, fer, magnésium, en particulier en intervenant dans les processus d'oxydo-réduction (Paul et Clak, 1989).

- Les champignons

Ils résistent mieux que les bactéries à la sécheresse et à l'acidité (Duchaufour, 1991). Leur rôle dans le sol est considérable et très varié : il s'exerce surtout dans la phase de « décomposition » de la matière organique fraîche, qui précède l'humification. Certains champignons sont associés aux racines des plantes supérieures (en particulier des arbres) en formant des mycorhizes, à vie symbiotique, qui facilitent la croissance et la nutrition des espèces qu'ils colonisent.

- Les actinomycètes

De morphologie assez voisine de celle des champignons, elles jouent un rôle important dans la décomposition des litières, et dans l'humification.

II.2.2. Facteurs contrôlant l'activité microbienne

II.2.2.1. Influence de la température et de l'humidité

Ces facteurs, par leur action sur l'intensité des processus de minéralisation, déterminent la vitesse des cycles des éléments nutritifs mis à la disposition des végétaux. Selon Dommergues (1962) la fertilité des sols tropicaux en dépend d'autant plus étroitement que leurs réserves sont

plus faibles. D'autres facteurs interviennent certes dans la fixation des niveaux d'activité biologique (nature du sol, nature des résidus végétaux) mais on peut considérer que les conditions de température et d'humidité sont les plus contraignantes (Dommergues 1962).

- Action de l'eau

La survie des micro-organismes du sol dépend du potentiel hydrique qui définit l'énergie avec laquelle l'eau est retenue dans le sol. Dommergues et Manganot (1970) estiment qu'au delà d'un potentiel matriciel équivalent à -40 MPa la croissance et l'activité microbiennes sont arrêtées. Cependant les micro-organismes n'ont pas tous la même sensibilité vis à vis de l'eau. L'augmentation du potentiel hydrique affecte beaucoup plus les bactéries que les champignons (Williams *et al.*, 1972). Bernhard-Reversat (1981) montre sur une étude faite sur un sol ferrugineux tropical que la minéralisation in situ de l'azote augmente rapidement lorsque le sol se ré-humecte sous l'effet des premières pluies, et atteint ensuite un seuil maximum qui reste constant pour des teneurs en eau du sol variant entre 5 et 17%.

- Action de la température

Moureaux (1967) estime que les basses températures (< à 10° C) ralentissent l'activité microbiologique (ammonification et nitrification) dans les sols ferrugineux tropicaux. L'activité maximale de ces micro-organismes se situe entre 40° et 60° C. D'après Bernhard-Reversat (1981) l'ammonification augmente avec la température, alors que la nitrification est inhibée par des températures supérieures à 40° C. Ainsi les fortes minéralisations enregistrées à des températures supérieures à 35° - 40° C favorisent la "fertilité spontanée", mais contribuent à la disparition rapide du stock de matière organique de ces sols.

II.2.2.2. Action de la composition de la litière

Formée de débris végétaux variés, feuilles, rameaux morts, qui tombent sur le sol, la litière représente la source essentielle de la matière organique du sol. Dans les sols tropicaux, souvent pauvres en matière organique, la nature de ces débris végétaux influence la distribution et l'activité des micro-organismes responsables des processus d'humification et de minéralisation. La carence des sols en carbone assimilable peut constituer un frein à l'activité des micro-organismes hétérotrophes (Darci, 1978). Selon Duchaufour (1977) l'azote représente un stimulant de l'humification biologique ; une bonne nutrition azotée est essentielle à l'activité des pourritures blanches et plus encore à celles des champignons synthétisant les composés humiques de type « mélanines microbiennes ». Ainsi les litières jouent un rôle déterminant dans les processus de biodégradation de la matière organique, de par leur action sur la nutrition azotée des micro-organismes du sol.

III. Le bilan carboné des sols tropicaux : processus d'humification et de minéralisation (figure 2)

Le compartiment matière organique des sols tropicaux (C.M.O.) peut être divisé en :

- un premier sous ensemble, notée « C lib », qui représente la fraction organique libre. Il s'agit de la matière organique libre, ou fraction de taille supérieure à 200 μm , et la partie la moins humifiée de la fraction 50 - 200 μm .

- un deuxième sous ensemble, notée « C fom », qui représente la fraction organo - minérale. Elle correspond à la partie humifiée de la fraction 50 - 200 μm , et surtout au complexe argilo - humique.

- et la biomasse organique, notée « C biom », qui représente la population de micro-organismes hétérotrophes.

Les deux compartiments C lib et C fom, sont alimentés par les apports de matières organiques représentés par :

- les racines, pailles et matières organiques à C/N élevé, > à 20, qui viennent directement alimenter le compartiment C lib.

- les produits transformés à C/N plus faible, proche de la fraction à C/N voisin de 10 (fumier, compost, exsudats racinaires), viennent alimenter le compartiment C fom.

Sous l'action de certaines espèces géophages de la macrofaune (vers, termites, larves d'insectes, etc.) et de la mésofaune (acariens, symphiles, collemboles, etc.) et dans une moindre mesure des micro-organismes, les apports de la fraction C lib sont transformés en polymères organiques condensés, appelés « humus » : C'est le processus d'humification symbolisé par la flèche (1). L'influence très réduite des micro-organismes sur ce processus est schématisée par un « robinet » (r) à faible débit (cf. fig.2).

Les organismes hétérotrophes de la faune tellurique amorce une division de la fraction C lib (C/N > 20) représentée par la flèche (2). Ainsi en bénéficiant de cette division amorcée (flèche 2), la biomasse microbienne contrôle entièrement les processus (flèche 3) qui conduisent à la minéralisation (flèche 4) des deux fractions C libre et C fom. Cette intense activité est symbolisée par un « robinet » (R) à fort débit (cf. fig.2).

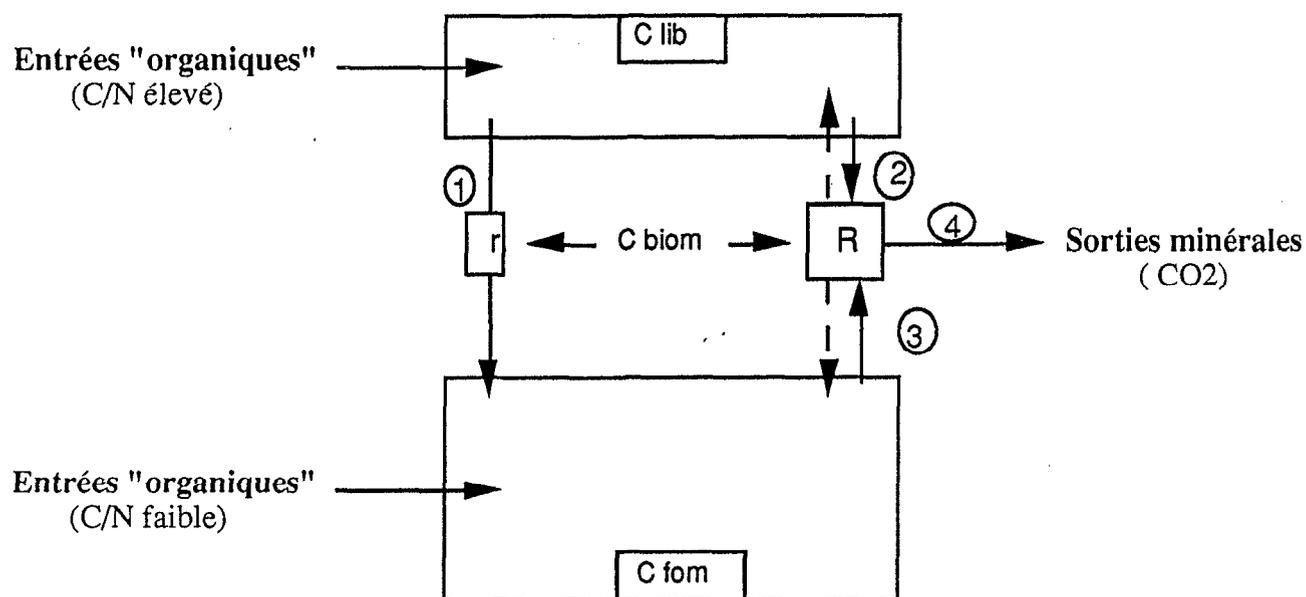
En milieu contrôlé, on constate qu'il n'existe qu'une seule sortie au bilan carboné d'un sol cultivé : l'émission gazeuse de CO_2 , qui résulte de l'activité respiratoire des micro-organismes du sol. Schématiquement on peut dire que l'équilibre carboné d'un système sol - plante tient à la balance entre les apports de carbone par les plantes d'une part, et la perte en carbone consommée par la biomasse microbienne d'autre part (Pieri, 1989).

Le rôle joué par l'activité microbienne dans le bilan de l'azote du système sol - plante illustre clairement ce phénomène. La minéralisation de l'azote inclus dans les substances organiques (C fom et C lib), sous l'action des micro-organismes, s'accompagnent d'une nécessaire consommation d'énergie (flèche 2 et 3). La perte de carbone liée à cette minéralisation

accompagne aussi le processus inverse, c'est à dire l'incorporation d'azote minéral, provenant de la minéralisation de substances organiques (flèche 2) dans les organismes vivants. Il participe ainsi à la reconstitution des structures organiques aminées de la fraction carbone biomasse (croissance «brute» de la population microbienne). Ainsi toute consommation d'azote par les plantes entraîne un accroissement de la production végétale et finalement des entrées de carbone. L'évolution du stock organique résultera donc de la confrontation de ces sorties et entrées de carbone dans le système.

Conclusion

En zone semi-aride, Barth et Klemmedson (1978) estiment que c'est dans l'horizon superficiel que se trouve principalement la matière organique et que se situe l'activité microbienne la plus intense. Les sols sont soumis à des températures élevées (> à 50° C en surface) et à des cycles d'humidité et de dessiccations fréquents pendant la saison des pluies. Le niveau élevé de l'ensemble des activités biologiques durant cette saison apparaît dès lors comme la principale cause de disparition généralement très rapide des matières organiques. A partir du moment où le sol est privé de résidus végétaux à la suite des défrichements intensifs, les éléments nutritifs trop rapidement libérés et non utilisés par les cultures peuvent disparaître presque complètement en deux ou trois ans même sans l'intervention de l'érosion (Maignien, 1959). D'où la nécessité de restituer ces pertes de matières organiques pour maintenir les propriétés des sols de cette zone à un niveau favorable à l'amélioration des rendements agricoles.



Compartiment matière organique (C.M.O.)	Fonctionnement interne
C lib : fraction organique libre C fom : fraction organo-minérale C biom : biomasse organique	1 : humification 2 : décomposition physique et consommation de carbone végétal par organismes hétérotrophes 3 : consommation de carbone lié par micro-organismes 4 : respiration biologique 1 + 2 + 3 = minéralisation

Figure 2 : Représentation schématique du flux de carbone et d'azote entre les différents compartiments organiques du sol (Pieri, 1989).

Chap. 3 : METHODOLOGIE

Notre étude comprend un travail de terrain pour le prélèvement des échantillons de sol, suivi d'une série d'analyses biochimiques effectuées en laboratoire.

I. Dispositifs expérimentaux

Les dispositifs expérimentaux ont été mis en place par le programme jachère ORSTOM pour les systèmes à jachère, et par l'Institut Sénégalaise de Recherche Agricole (ISRA) pour les systèmes agroforestiers.

I.1. Les systèmes à jachère

I.1.1. Saré Yorobana

Le dispositif est celui de Manley (1997).

Nous avons étudié des parcelles en jachère et des parcelles cultivées. Les jachères sont situées en périphérie de plateau, entre 0 et 1 km du front de défriche. Nous en avons étudié 6 âgées de 2, 4, 6, 13, 19, et 30 ans.

Dix parcelles de cultures ont été étudiées : il s'agit de 4 cultures de mil et 6 cultures d'arachides. Les cultures de mil sont situées à proximité des habitations (case) tandis que celles d'arachides sont éloignées des habitations (brousse). Les caractéristiques des parcelles, choisies en fonction de leur antécédent cultural, de leur situation géomorphologique et de leur niveau de fumure sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques des parcelles de Saré Yorobana (Manley, 1997)

Situation	âge jachère	Position parcelle	situation géomorpholog	niveau de fumure	ref (M 1996)
Jachère	2 ans				j1
"	4 ans				j2
"	6 ans				j3
"	13 ans				j4
"	19 ans				j5
"	30 ans				j6
culture mil		case	glacis	fumure faible	C1
"		"	plateau	fumure faible	C2
"		"	glacis	fumure forte	C3
"		"	plateau	fumure forte	C4
culture arachide		brousse	glacis	pas de fumure	C5
"		"	glacis	pas de fumure	C6
"		"	plateau	fumure faible	C7
"		"	plateau	fumure faible	C8
"		"	plateau	pas de fumure	C9
"		"	plateau	pas de fumure	C10

I.1.2. Sonkorong

Le dispositif est composé :

- de trois parcelles mises en jachère à des périodes différentes, parmi lesquelles nous avons :
 - * une parcelle (P2), âgée de 4 ans au moment du prélèvement, et dont la mise en défens a été en 1993,
 - * une parcelle (P4), âgée de 20 ans au moment du prélèvement. Une partie de cette parcelle a été abandonnée depuis 1977 (P4 anthropisée), et l'autre partie a été mise en défens en 1988 (P4 en défens).
- de cultures proches de ces parcelles (culture située près de la jachère de 20 ans)
- et d'une parcelle (P5), située dans la forêt classée de Djama (P5), parcelle qui n'a pas été cultivée.

Rq : La mise en défens des parcelles consiste à les protéger du pâturage, des prélèvements de bois de chauffe, et des feux de brousse.

Tableau 2 : Caractéristiques des parcelles de Sonkorong ayant fait l'objet de nos prélèvements

situation	parcelle	traitement	âge jachère	mise en défens en
jachère	P2	en défens	4ans	1993
"	P4	anthropisée	20ans	
"	P4	en défens	20ans	1988
culture	près de P4			
forêt	P5			

I.2. Les systèmes agroforestiers

I.2.1. Bandia

Le dispositif expérimental a été mis en place en août 1980. Il est composé de 4 blocs correspondant aux différents traitements. Des acacias ont été plantés au sein de chaque bloc avec trois répétitions (parcelle) de chacune des espèces : *Acacia senegal*, *Acacia raddiana*, *Acacia nilotica*. Vingt arbres ont été plantés par parcelle et ont été inoculés avec trois souches de *Rhizobium* :

- ORS 901,
- ORS 902,
- ORS 903,
- traitement témoin sans inoculation.

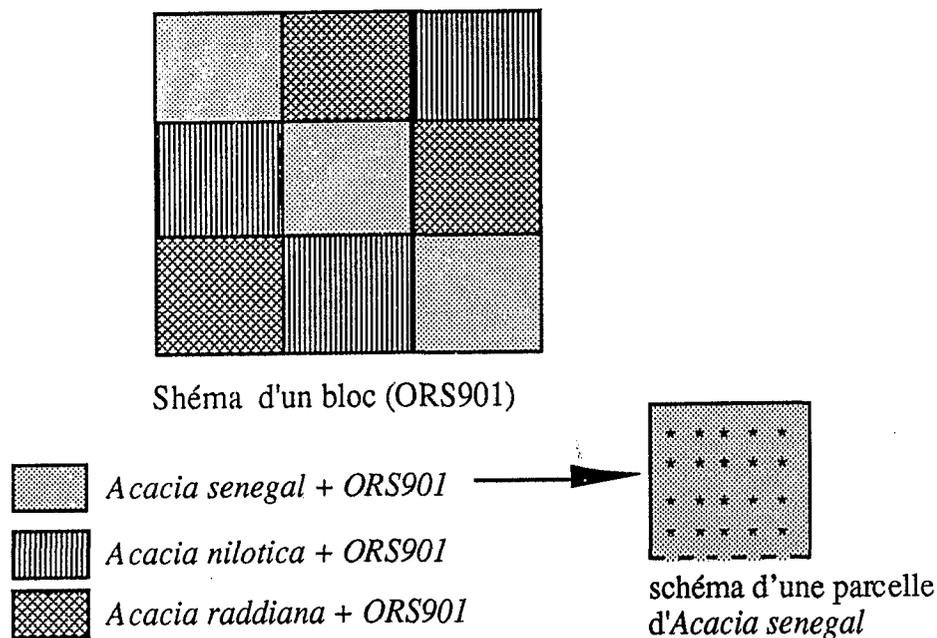


Figure 3 : schéma d'un bloc avec les 3 espèces d'arbres inoculés avec la souche ORS901.

I.2.2. Fintel Sombe

L'essai a été implanté en milieu paysan. Le dispositif comprend 8 blocs sur lesquels ont été plantées 3 espèces d'arbres (*Acacia albida*, *Acacia senegal*, *Acacia nilotica*) associées à différents traitements :

- Apport de matière organique (compost),
- inoculation de mycorhizes (*Glomus mossaea*),
- apport de matière organique + inoculation de mycorhizes,
- témoin sans apport.

Les prélèvements de sol ont été effectués sur 3 des 8 blocs existants.

I.2.3. Dahra

L'essai a été mis en place en 1988. Le dispositif est en bloc comprenant différents types d'arbres associés à des cultures. Dans chaque bloc ont été plantées 3 espèces d'arbres (*Acacia senegal*, *Acacia raddiana*, et *Zizyphus mauritiana*).

Il y a trois cultures associées :

- Pennisetum typhoides* (Mil)
- Vigna unguiculata* (Niébé)
- Colocynthis citrullus* (Pastèque)
- Le quatrième bloc est composé de graminées (herbes sauvages)

Pour chaque couple arbre - culture, il y a trois répétitions de traitements. Le bloc témoin est composé de cultures seules sans arbres. Les prélèvements de sol ont été effectués sur les traitements arbres associés à la culture mil et à l'herbe et sur la culture mil témoin sans arbres.

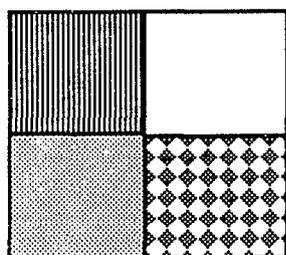


schéma d'un bloc d'*Acacia senegal*

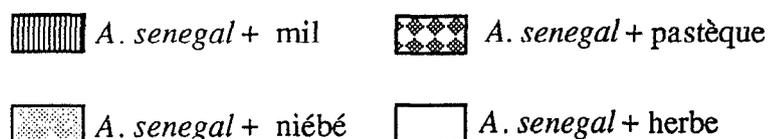


Figure 4 : Schéma d'un bloc avec les différentes cultures associées

II. Paramètres étudiés

II.1. Les systèmes à jachère

A Saré Yorobana nous comparons entre elles des jachères d'âge différent que l'on suppose avoir à priori les mêmes caractéristiques édaphiques, avec des cultures (mil et arachides) suivant leurs situations géomorphologiques et leur niveau de fumure.

Tandis qu'à Sonkorong nous comparons des modes différents de gestion des jachères (en défens et anthropisée), leur âge, avec des parcelles cultivées, et des parcelles naturelles (forêt classée).

II.2. Les systèmes agroforestiers

Dans le cas des systèmes agroforestiers nous comparons différentes espèces d'arbres, principalement des arbres fixateurs d'azote et l'effet du couvert arboré (sous couvert et hors couvert) avec des cultures mil. Par ailleurs, suivant les dispositifs nous étudions aussi les effets de divers traitements comme l'inoculation de *Rhizobium* (Bandia) ou de mycorhizes (Fintel Sombe) ou la présence de diverses cultures associées (Dahra).

III. Echantillonnage

Les prélèvements de sols sont adaptés au dispositif expérimental. Ils ont été effectués dans l'horizon superficiel (0-10 cm).

III.1. Les systèmes à jachère

Pour Saré Yorobana dans chacune des jachères, 20 prélèvements sont effectués le long d'un transect, et constituent des sous échantillons. Les dix premiers sont mélangés et représentent un échantillon moyen, et les dix autres constituent un autre échantillon.

Pour les cultures, 4 placettes sont identifiées au hasard dans chaque parcelle, et 4 prélèvements sont réalisés dans chacune d'elles, deux prélèvements de deux placettes sont mélangés et constituent un échantillon moyen.

A Sonkorong nous avons repris le même dispositif que celui de Saré Yorobana pour les situations en jachère. Pour les cultures nous avons réalisé deux échantillons moyens en mélangeant 10 prélèvements répartis au hasard dans la parcelle.

III.2. Les systèmes agroforestiers

A Bandia un échantillon composite de 6 prélèvements est réalisé aux pieds des arbres dans chacune des parcelles .

A Fintel Sombe, pour chaque arbre associé à un traitement nous prélevons 4 échantillons de sol au pieds de l'arbre (à 0-10 cm de l'arbre) que l'on mélange pour faire un échantillon moyen. Puis un second échantillon moyen est obtenu par mélange de 4 autres prélèvements effectués hors couvert végétal c'est à dire à 1,20 m de l'arbre.

A Dahra nous avons adopté le même dispositif que celui de Fintel Sombe.

VI. Paramètres mesurés (mode opératoire, voir en annexe)

VI.1. La biomasse microbienne totale

Pour comparer les systèmes de cultures entre eux et ainsi estimer les effets du mode de gestion des terres sur la biomasse microbienne, les sols ont été pré-incubés pendant une semaine à une humidité exprimée en % de la capacité de rétention mesurée à pF 2,2. L'humidité à pF 2,2 correspond à l'humidité à 100 % de la capacité au Champs. La biomasse microbienne obtenue est à son maximum à cette humidité.

La mesure de la biomasse microbienne totale est effectuée par la méthode fumigation - extraction au chloroforme (Amato et Ladd, 1988), et le dosage se fait par colorimétrie à la ninhydrine. Le principe repose sur l'extraction par une solution de KCl de l'azote alpha aminé contenu dans les micro-organismes du sol, dont la libération s'effectue après incubation de 10 jours au chloroforme (fumigation). Nous procédons d'abord à l'analyse de l'azote alpha aminé contenu

dans les extraits au temps T0 (elle représente la quantité d'azote alpha aminé présente dans le sol avant fumigation). Au dixième jour de l'incubation nous déterminons la quantité d'azote alpha aminé contenu dans les extraits au temps T10 (quantité d'azote alpha aminé présente dans le sol après fumigation). La différence entre le T10 et le T0 représente la quantité d'azote alpha aminé libérée par les micro-organismes au cours de la fumigation. Les résultats sont exprimés en $\mu\text{g C g}^{-1}$ sol sec en multipliant la quantité d'azote par le facteur 21.

VI.2. Carbone et Azote organiques

VI.2.1. Carbone organique

Le dosage du carbone total est effectué par la méthode de Walkley et Black. Le principe repose sur l'oxydation du carbone en CO_2 par une solution de bichromate de potassium en milieu acide (acide sulfurique), et le dosage par colorimétrie des ions Cr^{3+} formés. La quantité d'ion Cr^{3+} ainsi formée est proportionnelle à la quantité de carbone qui a été oxydée. Les résultats sont exprimés en mg C g^{-1} de sol sec.

VI.2.2. Azote organique

Le dosage de l'azote total est effectué par la méthode Kjeldahl. L'azote des matières organiques est minéralisé en azote ammoniacal, en présence d'acide sulfurique. Le carbone et l'hydrogène sont décomposés sous forme de gaz carbonique et d'eau. Les ions ammonium libérés sont ensuite fixés par l'acide sulfurique sous forme de sulfate d'ammonium, et dosés par colorimétrie. Les résultats sont exprimés en mg N g^{-1} de sol sec.

V. Méthodes d'interprétation mathématique

V.1. Traitement des données

L'ensemble des données obtenues ont été traitées sur Excel. Nous avons effectués des comparaisons de moyennes sur les différents paramètres mesurés.

V.2. Analyses statistiques

Des analyses de variances ont été effectués sur les mesures de la biomasse microbienne totale avec le test de Fisher $< \alpha 5\%$ ($p < 0,05$) (Statview, version 4.02).

Chap 4 : RESULTATS

I. Les systèmes à jachère

I.1. La biomasse microbienne totale

I.1.1. Saré Yorobana

A Saré Yorobana les teneurs de biomasse microbienne totale enregistrées sous les parcelles en jachère (toutes confondues) sont significativement supérieures à celles sous cultures mil et arachide.

Il n'y a pas d'effet de l'âge de la jachère sur les teneurs de biomasse microbienne totale. Celles-ci diminuent avec l'âge, les valeurs les plus élevées sont rencontrées au niveau des jachères de 2, 4 et 6 ans, ensuite elles se stabilisent au niveau des jachères plus âgées (19 et 30 ans) (cf. fig.5).

Pour les cultures, les teneurs de la biomasse microbienne sous mil sont supérieures à celles enregistrées sous arachide. Mais on ne note pas de différences significatives. Il n'y a pas d'effet de la fumure sur les biomasses enregistrées sous cultures (mil et arachide). Sous mil en plateau, les teneurs augmentent par rapport à celles enregistrées sous glacis (cf. fig.5). Par contre pour l'arachide, il n'y a pas de différence entre les biomasses sous plateau et celles sous glacis.

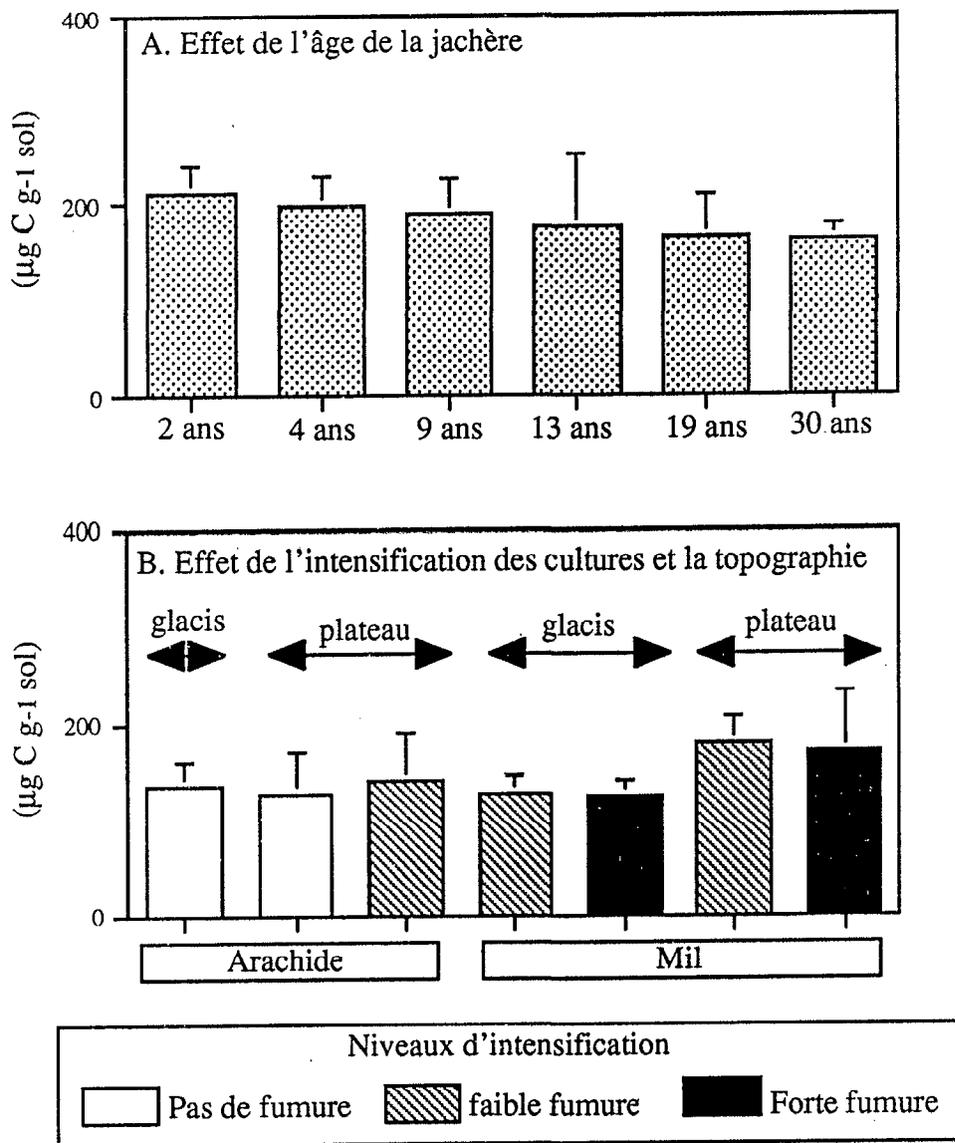


Figure 5 : Biomasse microbienne totale ($\mu\text{g C g}^{-1}$ sol) du sol (horizon 0-10 cm) dans le terroir villageois de Saré Yorobana : effets de l'âge de la jachère, de l'intensification des cultures et de leur position topographique.

I.1.2. Sonkorong

Les résultats obtenus à Sonkorong montrent que la biomasse microbienne totale est plus faible sous culture par rapport à la jachère et la forêt non cultivée (cf. fig. 6). Les analyses statistiques montrent des différences significatives entre les jachères, la forêt et les cultures. Dans la jachère mise en défens, la biomasse augmente significativement par rapport à celle enregistrée dans la parcelle anthropisée ; les teneurs obtenues sous les jachères de 4 et 20 ans en défens sont plus élevées que celles enregistrées sous la jachère de 20 ans anthropisée (cf. fig. 6). Par contre il

n'y a pas de différence significative pour les mêmes teneurs de biomasse (jachère 4 et 20 ans) et celles enregistrées sous forêt.

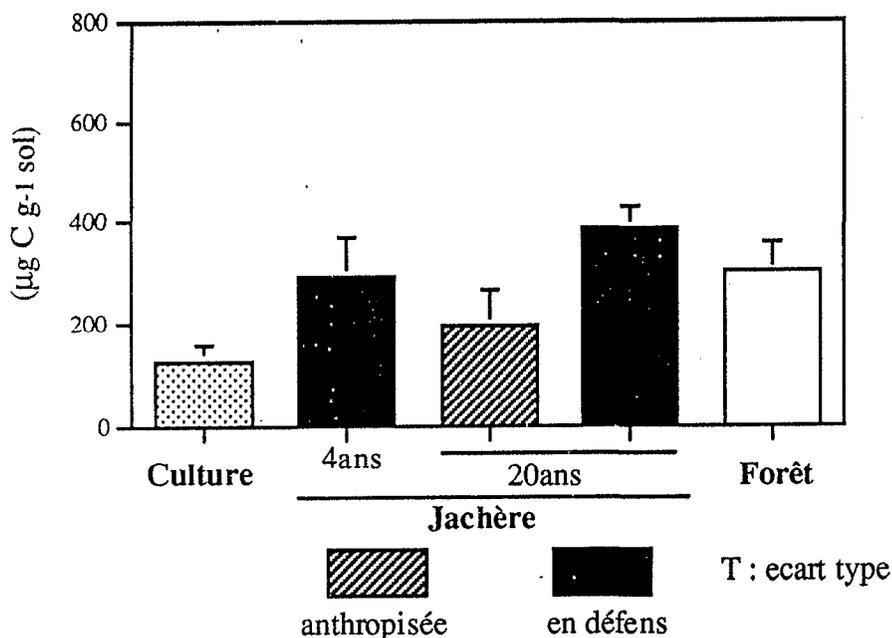


Figure 6 :Biomasse microbienne totale ($\mu\text{g C g}^{-1}$ sol) du sol (horizon 0-10 cm) dans le système à jachère de Sonkorong : effets de l'âge et la mise en défens des jachères.

1.2. Carbone et azote organiques

1.2.1. Saré Yorobana

Les résultats obtenus à Saré Yorobana montrent que l'âge de la jachère n'influence pas le statut organique du sol (cf. tab. 3). La jachère de 6 ans enregistre les teneurs en carbone et azote organiques supérieures à celles obtenues sur les jachères plus âgées (13, 19 et 30 ans).

Dans l'ensemble, les teneurs augmentent sous culture mil par rapport à celles obtenues sous culture arachide et sous jachère.

Il n'y a pas d'effet de la fumure sur la matière organique pour les cultures de mil et d'arachide en plateau. On ne note pas de différence entre les teneurs en carbone et d'azote organiques sous culture mil en glacis et celles enregistrées sous plateau (cf. tab. 3).

Les valeurs de C/N varient entre 12 et 18. Pour les jachères, seule celle de 19 ans enregistre un C/N de 18, les autres valeurs sont $<$ à 16

Tableau 3 : Teneurs en C et N organiques (mg g⁻¹ sol) du sol (horizon 0-10 cm) dans le système à jachère de Saré Yorobana.

situation	âge jachère	position parcelle	situation geomorph	niveau de fumure	ref (Manley 1996)	C (mg g ⁻¹ sol)		N (mg g ⁻¹ sol)		C/N
						Moy	E T	Moy	E T	
jachère	2ans				j1	3,81	0,22	0,30	0,06	13
	4ans				j2	4,03	0,58	0,34	0,00	12
	6ans				j3	4,28	0,32	0,27	0,09	16
	13ans				j4	4,26	0,20	0,27	0,08	16
	19ans				j5	4,40	0,90	0,25	0,13	18
	30ans				j6	4,34	0,39	0,30	0,04	14
mil		case	glacis	faible	C1	4,44	0,68	0,36	0,00	12
	forte			C2	4,98	0,29	0,47	0,00	11	
	plateau		faible	C3	4,88	0,50	0,29	0,13	17	
			forte	C4	4,81	0,71	0,28	0,13	17	
arachide		brousse	glacis	pas de fumure	C5	3,87	0,18	0,37	0,00	10
	pas de fumure			C6	4,19	0,32	0,23	0,02	18	
	plateau		faible	C7	3,77	0,58	0,25	0,13	15	
			faible	C8	3,3	0,60	0,3	0,07	11	
	plateau		pas de fumure	C9	3,58	0,42	0,26	0,04	14	
			pas de fumure	C10	3,81	0,18	0,28	0,14	14	

I.2.2. Sonkorong

Les résultats obtenus à Sonkorong montrent que les teneurs en carbone et azote organiques augmentent sous jachère en défens et sous forêt naturelle par rapport à la culture. Par contre la jachère anthropisée enregistre des teneurs en carbone inférieures à celles obtenues sous culture (cf. tab. 4).

Le statut organique du sol augmente sous jachère mise en défens par rapport à celle anthropisée, avec un maximum enregistré sous la jachère de 20 ans en défens. Les teneurs de matière organique les plus élevées ont été enregistrées sous forêt naturelle comparées aux parcelles en jachère.

Les rapports de C/N varient entre 12 et 24. Les C/N les plus élevés (17 et 24) ont été trouvés sous la jachère de 4 ans en défens et sous culture.

Tableau 4 : Teneurs en carbone et azote organiques (mg g⁻¹ sol) du sol (horizon 0-10 cm) dans le système à jachère de Sonkorong.

situation	parcelle	traitement	âge jachère	mise en défens en	C (mg g ⁻¹ sol)		N (mg g ⁻¹ sol)		C/N
					Moy	E T	Moy	E T	
jachère	P2	en défens	4ans	1993	7,91	1,07	0,47	0,01	17
"	P4	anthropisée	20ans		6,27	1,97	0,52	0,16	12
"	P4	en défens	20ans	1988	9,57	1,90	0,59	0,15	16
culture	près de P4				6,57	2,72	0,27	0,04	24
forêt	P5				9,63	2,74	0,66	0,04	15

II. Les systèmes agroforestiers

II.1. La biomasse microbienne totale

II.1.1. Bandia

Les résultats de biomasse microbienne totale obtenus à Bandia montrent que les teneurs enregistrées dans le système agroforestier sont significativement plus élevées que celles obtenues sous cultures (cf. fig. 7).

Pour les traitements témoins non inoculés, la biomasse microbienne totale augmente sous pieds d'*Acacia senegal* par rapport à *Acacia nilotica*, et *Acacia raddiana*, avec des différences significatives entre *Acacia senegal* et *Acacia nilotica*.

Entre les différentes souches inoculées et le témoin, on ne note pas de différence significative à l'exception de la souche ORS901. La teneur enregistrée sous la même souche (ORS901) augmente significativement par rapport à celle obtenue sous les souches ORS902 et ORS903.

Sous *Acacia senegal* la combinaison arbre - souche n'a pas d'effet sur la biomasse microbienne, les teneurs enregistrées sous le témoin étant supérieures à celles inoculées. Pour *Acacia raddiana* par contre les combinaisons avec les souches ORS901 et ORS903 enregistrent des teneurs supérieures au témoin. Quant à *Acacia nilotica*, seule la combinaison avec la souche ORS901 enregistre des teneurs de biomasse supérieures au témoin ; celles obtenues avec les souches ORS902 et ORS903 restent faibles par rapport au témoin.

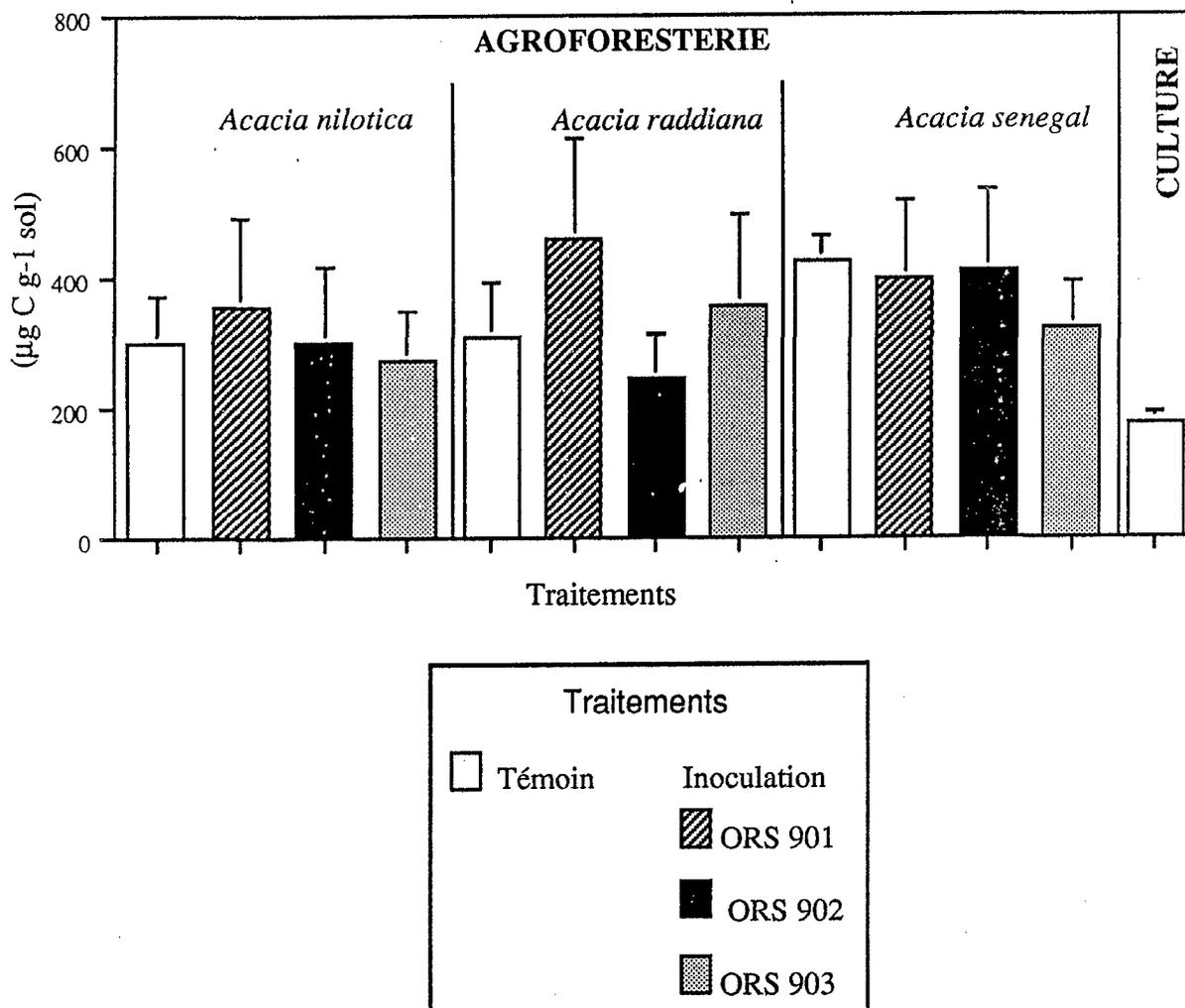


Figure 7 :Biomasse microbienne totale ($\mu\text{g C g}^{-1}$ sol) du sol (horizon 0-10 cm) dans le système agroforestier de Bandia : effet de l'inoculation initiale.

II.1.2. Fintel Sombe

A Fintel Sombe les *Acacia albida* ont difficilement survécu quelque soit les traitements. Nous avons considéré l'effet de cet arbre comme étant nul. Les résultats de biomasse microbienne totale sont représentés par la figure 8. L'effet de l'arbre est marqué par une augmentation significative des teneurs en biomasse microbienne totale enregistrées sous couvert végétal d'*Acacia senegal* et d'*Acacia raddiana* par rapport à celles enregistrées hors couvert végétal. L'effet du traitement initial est marqué par une augmentation des teneurs en biomasse microbienne totale enregistrées sous les traitements matière organique et matière organique + mycorhizes par rapport aux autres traitements. Les différences obtenues entre le traitement matière organique + mycorhizes, et les traitements mycorhizes et témoin sont significatives. Les biomasses les plus faibles ont été enregistrées sous le traitement mycorhizes avec des teneurs moins élevées par rapport celles obtenues sous le témoin.

Sous pieds d'*Acacia raddiana*, les traitements matière organique et matière organique + mycorhize enregistrent des teneurs en biomasse supérieures à celles du témoin. Sous pieds d'*Acacia senegal*, seul le traitement matière organique + mycorhize enregistre des teneurs en biomasse microbienne supérieures à celles obtenues sous le témoin.

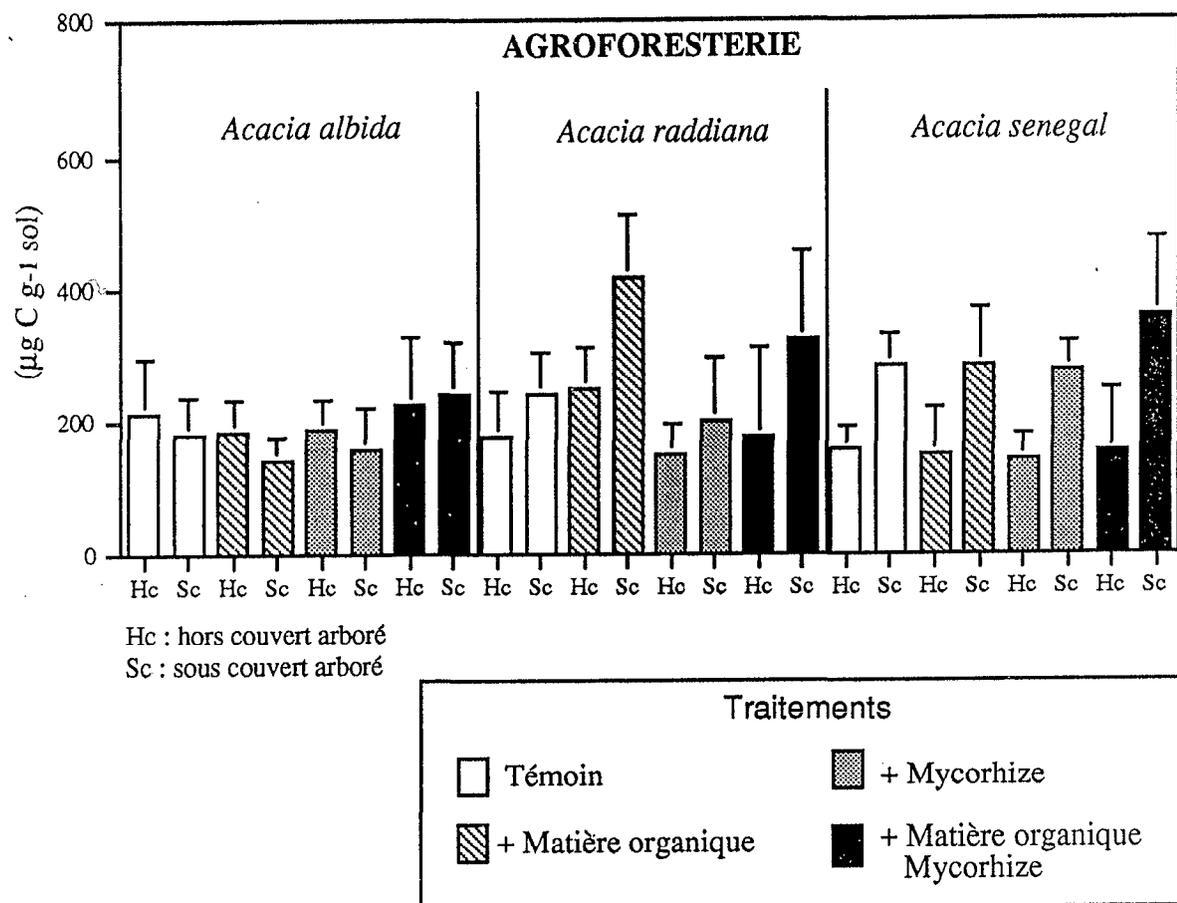


Figure 8 : Biomasse microbienne totale (µg C g⁻¹ sol) du sol (horizon 0-10 cm) dans le système agroforestier de Fintel sombe ; effets du couvert arboré et du traitement initial.

II.1.3. Dahra

Les résultats obtenus à Dahra montrent une réduction significative des teneurs en biomasse microbienne totale enregistrées sous cultures mil par rapport au sol non cultivé (cf. fig. 9). Sous herbe (graminées), les teneurs en biomasse microbienne totale augmentent significativement par rapport à celles enregistrées sous culture mil. L'association arbres - cultures est marquée par une augmentation significative de la teneur en biomasse microbienne sous le système agroforestier par rapport aux cultures mil seul.

L'effet de l'arbre est marqué, par une augmentation significative de la teneur en biomasse microbienne totale du sol sous couvert végétal d'*Acacia senegal*, d'*Acacia raddiana* et de *Zizyphus mauritiana* (cf. fig. 9). Les teneurs enregistrées sous pieds d'*Acacia senegal* sont significativement supérieures à celles sous *Acacia raddiana* et *Zizyphus mauritiana*.

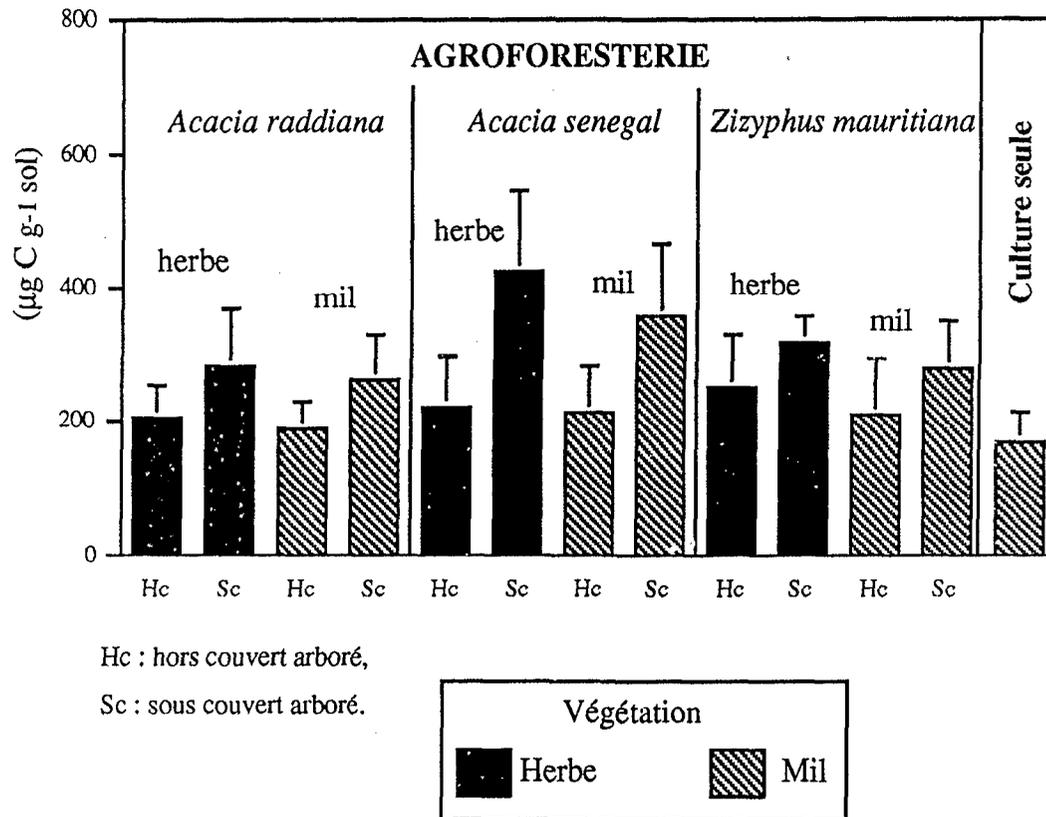


Fig 9: Biomasse microbienne totale (µg C g⁻¹ sol) du sol (horizon 0-10 cm) dans le système agroforestier de Dahra.

II.2. Carbone et azote organiques

II.2.1. Bandia

A Bandia, nous notons un fort accroissement de la teneur en carbone et azote organiques du sol sous le système agroforestier par rapport à celle obtenue sous culture (cf. tab. 5). Dans les traitements témoins, l'effet de l'arbre est marqué par une augmentation de la teneur en matière organique du sol sous pieds d'*Acacia nilotica* par rapport à celles enregistrées sous *Acacia raddiana* et *Acacia senegal*. Les teneurs les plus faibles ont été enregistrées sous *Acacia senegal*. Pour les différents arbres inoculés, les teneurs en carbone organiques enregistrées sont supérieures à celles obtenues sous les arbres non inoculés (témoins). Sous pieds d'*Acacia nilotica*, l'association avec la souche ORS902 enregistre des teneurs en carbone organiques supérieures à celles obtenues avec les souches ORS901 et ORS903. Sous pieds d'*Acacia senegal*, seule la souche ORS901 enregistre des teneurs en carbone organiques faibles. Sous *Acacia raddiana* par contre les teneurs en carbone organiques les plus élevées sont obtenues avec la souche ORS901 et ORS902.

L'effet de l'inoculation sur l'azote organique du sol est négatif (cf. tab. 5) ; les teneurs enregistrées sous les témoins non inoculés sont supérieures à celles obtenues sous arbres inoculés, à l'exception d'*Acacia senegal*.

Pour ce qui est de l'effet conjugué arbre - souche, seule l'association *Acacia senegal* avec les souches ORS901, ORS902 et ORS903 enregistre des teneurs en azote organique supérieures à celles du témoin.

Les rapport C/N varient entre 8 et 24 (cf. tab. 5). Les valeurs de C/N supérieures à 20 dans certaines situations s'expliquent par les teneurs élevées de carbone enregistrées. Ces teneurs seraient dues au charbon de bois qui a interféré dans notre dosage malgré le tri préalablement effectué.

Tableau 5 : Teneurs en carbone et azote organiques (mg g^{-1} sol) du sol (horizon 0-10 cm) dans le système agroforestier de Bandia

arbres	souches	C (mg g^{-1} sol)		N (mg g^{-1} sol)		C/N
		Moy	E T	Moy	E T	
<i>A. nilotica</i>	ORS 901	12,48	6,42	0,78	0,39	16
	ORS 902	16,71	6,36	0,75	0,30	22
	ORS 903	11,48	4,53	0,66	0,23	17
	Temoin	10,07	1,18	0,83	0,11	12
<i>A. senegal</i>	ORS 901	7,24	1,98	0,93	0,09	8
	ORS 902	9,97	2,29	0,67	0,13	15
	ORS 903	9,97	3,55	0,68	0,14	15
	Temoin	7,03	0,71	0,63	0,06	11
<i>A. raddiana</i>	ORS 901	11,80	5,35	0,50	0,09	24
	ORS 902	11,31	3,55	0,73	0,23	15
	ORS 903	10,01	1,82	0,60	0,23	17
	Temoin	9,30	1,49	0,77	0,11	12
Sans arbre	culture	7,15		0,53		13

II.2.2. Fintel Sombe

Les résultats obtenus à Fintel Sombe montrent que l'effet de l'arbre est marqué par une augmentation du statut organique du sol sous couvert végétal d'*Acacia raddiana* et d'*Acacia senegal* par rapport à celui enregistré hors couvert végétal (cf. tab. 6).

Les traitements matière organique, matière organique + mycorhizes et mycorhizes sous pieds d'*Acacia senegal* enregistrent des teneurs en carbone et azote organiques supérieures à celles sous témoin. Les meilleurs résultats sont obtenus sous les traitements matière organique et matière organique + mycorhizes. Sous *Acacia raddiana*, il n'y a pas d'effet du traitement sur le statut organique du sol, à l'exception de l'apport de matière organique qui entraîne une augmentation du taux de carbone par rapport au témoin. Les teneurs en azote organique enregistrées sous les différents traitements sont plus faibles que celles obtenues sous le témoin. Dans l'ensemble, l'effet traitement est plus marqué sur l'association avec *Acacia senegal* qu'avec *Acacia raddiana*.

Les C/N obtenus sous couvert végétal d'*Acacia raddiana* et *Acacia senegal* (cf. tab. 6) sont supérieurs à ceux hors couvert végétal.

Tableau 6 : Teneurs en carbone et azote organiques (mg g⁻¹ sol) du sol (horizon 0-10 cm) dans le système agroforestier de Fintel Sombe

Arbres	Traitement	pt prélev	C (mg g ⁻¹ sol)		N (mg g ⁻¹ sol)		C/N
			Moy	E T	Moy	E T	
<i>A. albida</i>	M organique	hors couv	1,75	0,38	0,13	0,02	14
		sous couv	1,95	0,29	0,13	0,01	15
	Mo+mycorh	hors couv	1,81	0,16	0,12	0,06	15
		sous couv	1,87	0,32	0,10	0,03	18
	Mycorhize	hors couv	1,52	0,70	0,15	0,06	10
		sous couv	1,81	0,13	0,12	0,00	15
	témoin	hors couv	1,62	0,50	0,14	0,03	12
		sous couv	2,04	0,04	0,17	0,03	12
<i>A. raddiana</i>	M organique	hors couv	2,01	0,52	0,15	0,03	13
		sous couv	2,74	0,58	0,17	0,06	16
	Mo+mycorh	hors couv	1,58	0,26	0,12	0,05	13
		sous couv	2,36	0,27	0,14	0,04	17
	Mycorhize	hors couv	1,62	0,16	0,12	0,04	13
		sous couv	2,06	0,32	0,15	0,02	14
	témoin	hors couv	1,71	0,22	0,15	0,08	11
		sous couv	2,36	0,48	0,18	0,03	13
<i>A. senegal</i>	M organique	hors couv	1,46	0,37	0,11	0,02	13
		sous couv	2,67	0,73	0,18	0,03	15
	Mo+mycorh	hors couv	1,91	0,29	0,15	0,03	13
		sous couv	2,72	0,23	0,20	0,02	14
	Mycorhize	hors couv	1,87	0,41	0,12	0,04	16
		sous couv	2,12	0,27	0,17	0,05	12
	témoin	hors couv	1,58	0,29	0,11	0,04	15
		sous couv	1,99	0,28	0,13	0,04	15

II.2.3. Dahra

A Dahra, les résultats enregistrés montrent une réduction des teneurs en carbone et azote organiques sous cultures mil par rapport au sol non cultivé. Les teneurs en matière organique enregistrées sous herbe (parcelle non cultivée) sont plus élevées que celles obtenues sous culture mil (cf. tab. 7).

Sous le système agroforestier, l'effet de l'arbre est marqué par une augmentation des teneurs en carbone et azote organiques du sol sous couvert végétal d'*Acacia raddiana*, d'*Acacia senegal* et de *Zizyphus mauritiana*. Les teneurs obtenues sous *Acacia senegal* sont plus élevées que celles enregistrées sous *Acacia raddiana* et *Zizyphus mauritiana*. L'association *Acacia senegal* - herbe enregistre les meilleures teneurs en matières organiques.

Les C/N du sol sous couvert arboré sont dans l'ensemble supérieurs à ceux hors couvert arboré de l'arbre (cf. tab. 7).

Tableau 7 : Teneurs en carbone et azote organiques (mg g^{-1} sol) du sol
(horizon 0-10 cm) dans le système agroforestier de Dahra.

arbres	cultures	pt prélevement	C (mg g^{-1} sol)		N (mg g^{-1} sol)		C/N
			Moy	ET	Moy	ET	
<i>Z. mauritiana</i>	herbe	hors couv	1,87	0,34	0,24	0,15	8
		sous couv	3,14	1,23	0,17	0,02	19
	mil	hors couv	1,69	0,20	0,17	0,03	10
		sous couv	2,55	0,44	0,18	0,02	14
<i>A. raddiana</i>	herbe	hors couv	1,98	0,31	0,16	0,01	13
		sous couv	3,15	0,50	0,23	0,08	14
	mil	hors couv	1,91	0,12	0,25	0,08	8
		sous couv	2,74	0,47	0,20	0,05	14
<i>A. senegal</i>	herbe	hors couv	2,58	0,35	0,14	0,02	18
		sous couv	4,18	0,30	0,27	0,14	15
	mil	hors couv	2,02	0,17	0,17	0,02	12
		sous couv	3,54	0,32	0,19	0,01	19
sans arbres	mil		1,86	0,37	0,14	0,00	13

Chap. 5 : DISCUSSION

I. Effet des cultures sur le statut microbiologique et organique du sol.

L'ensemble des résultats enregistrés sous les systèmes agroforestiers et les systèmes à jachère montrent que la mise en culture entraîne une baisse du potentiel microbiologique et organique par rapport au sol non cultivé. Nos résultats vont dans le même sens que ceux obtenus par d'autres auteurs (Siband, 1972, 1974 ; Feller, 1977). Ces auteurs montrent que la mise en culture entraîne une baisse du taux de matière organique du sol sur l'ensemble du profil (0-60 cm). La mise en culture des sols de savanes entraîne une perte importante de la masse racinaire et des résidus végétaux qui assurent le maintien de l'équilibre carboné. En zone tropicale humide, Chotte (1988) estime que la mise en culture provoque de la même façon une baisse des résidus racinaires. Le carbone constituant la principale source énergétique des micro-organismes hétérotrophes, une réduction de la matière organique entraîne aussi une diminution du potentiel microbiologique du sol (Kabir *et al.*, 1994).

II. Rôle de l'arbre dans les systèmes agraires sahéliens et sahélo-soudaniens

II.1. Influence de divers espèces d'acacias sur le statut organique du sol

Les résultats obtenus sur les différents systèmes agroforestiers ont mis en évidence l'effet bénéfique des acacias sur le statut microbiologique et organique des sols étudiés. Nous avons noté une augmentation significative des teneurs en biomasse microbienne totale et matière organique sous couvert arboré par rapport au sol hors couvert et aux cultures. Les études antérieures (Jung, 1969) ont montré que l'effet bénéfique des légumineuses (*Acacia*) se traduisait par une amélioration du sol sous l'effet des retombées organiques. Les analyses pédologiques effectuées par les différents auteurs ont révélé une augmentation du taux de matière organique sous couvert de l'arbre (Jung, 1966). Les acacias sont exceptionnellement caractérisés par des racines profondes pouvant pomper l'eau et les éléments nutritifs en profondeur. Le rôle de ces dernières sur l'accumulation de la matière organique est encore mal connu ; mais l'hypothèse que la présence d'un système racinaire dense contribue considérablement à l'accumulation de la matière organique dans le sol par sa décomposition peut être émise.

II.2. Le transfert de fertilité arbres-cultures associées

Dans les systèmes agroforestiers étudiés, le statut organique du sol enregistré sous les cultures associées à l'arbre augmente par rapport aux cultures témoins (sans arbre). Les résultats de biomasse microbienne totale, carbone et azote organiques sous arbres associés aux cultures mil et herbe à Dahra sont supérieurs aux cultures témoins sans arbres. Ces observations sont

valables aussi bien sous *Acacia* (légumineuses) que sous *Zizyphus*. Des essais au champs (Ganry, 1990) confirment ces résultats. En effet il a été observé en général l'effet favorable des arbres sur la fertilité des sols qu'ils soient fixateurs d'azote ou non. Ainsi l'arbre favorise l'accumulation de la matière organique par le recyclage de ses organes externes (chute des feuilles, fruits et branches) et souterrains (racines). Il contribue ainsi au maintien de la fertilité organique des sols.

Les rapports C/N sont dans l'ensemble plus faibles pour le sol hors couvert arboré par rapport à celui sous couvert. Cela s'explique par l'apport des résidus végétaux qui ont en général un C/N élevé (> 30). Ce qui entraîne une augmentation du C/N sous couvert arboré.

III. Effet des symbioses racinaires sur le statut microbiologique et organique du sol.

III.1. La symbiose *Rhizobium* - *Acacia*

Les résultats obtenus sur le système agroforestier de Bandia montrent que l'effet de l'inoculation n'est perceptible dans l'ensemble que sous *Acacia senegal* où l'on note des teneurs en azote organique du sol supérieures au témoin non inoculé. De nombreuses observations émises par des auteurs sur la fixation d'azote par les légumineuses associées à des bactéries peuvent expliquer ces résultats. Selon Brung *et al.* (1990), les projets agroforestiers n'ont jusqu'à l'heure actuelle jamais pris en compte (à quelques exceptions près) l'aptitude d'une souche de *Rhizobium* à fixer l'azote en symbiose (c'est à dire l'effectivité de la souche). D'autres observations suggèrent que la durée de fixation active d'une plantation varie beaucoup suivant les espèces ligneuses, la densité de la plantation, et les conditions de climat et du sol (Dommergues et Ganry, 1995). Pour une espèce végétale donnée associée à une bactérie donnée, la fixation de l'azote peut être réduite si un facteur limitant intervient. Nous pouvons émettre l'hypothèse que les faibles teneurs en azote enregistrées sous *Acacia raddiana* et *Acacia nilotica* par rapport au témoin non inoculé peuvent être liées à la réceptivité de la souche, à la nature du climat, ou à l'âge de la plantation.

III.2. L'effet de la mycorhization

L'effet de la mycorhization a été étudié dans le système agroforestier de Fintel Sombe. Il s'agit d'un système implanté en milieu paysan avec des cultures annuelles de mil. Les résultats obtenus montrent qu'il y a un effet négatif de la mycorhization sur le potentiel microbiologique et organique du sol. Les teneurs en biomasse microbienne totale, carbone et azote organiques enregistrées sous arbres inoculés sont inférieures à celles sous arbres non inoculés (témoin). Ces observations sont valables pour les deux espèces, *Acacia senegal* et *Acacia nilotica*. Des essais au champs effectués en zone tropicale, montrent que sauf exception, la fixation réelle

d'azote est insuffisante pour assurer le maintien des réserves azotées des sols à chaque fois qu'il y a récolte exportée, forestière ou agricole (Danso *et al.*, 1992). Ce qui pourrait certainement expliquer les faibles teneurs enregistrées sur les traitements inoculés par rapport aux témoins.

IV. Jachère et statut organique des sols

Quelques études sur la relation entre jachère et statut organique du sol font état de l'augmentation du statut organique des sols pendant la phase de jachère. Nous pouvons citer les travaux de Greenland et Nye (1959) ; Feller *et al.* (1993) ; Bernard-Reversat (1982) ; Pieri (1985). Nos résultats obtenus à Sonkorong vont dans le même sens que ces observations. Les faibles taux de biomasse microbienne totale, carbone et azote organiques sous culture comparés à la jachère s'expliquent selon Feller (1977) par le fait que la décomposition du carbone est plus importante pour les sols sous cultures que ceux sous forêt (sous arbres). Il y a donc eu une accumulation de matière organique au cours de la phase de jachère par rapport à la culture. Cette accumulation de matière organique a entraîné une augmentation de la biomasse microbienne totale.

La mise en défens des parcelles en jachère entraîne une augmentation du statut organique du sol par rapport aux parcelles anthropisées. En fait l'importance de la jachère s'explique par la remontée de la fertilité biologique du sol qu'elle peut engendrer suite à un retour à la végétation naturelle (arbustive ou arborée). Pour Floret et Pontanier (1993), cette remontée biologique vers une savane, "en équilibre" peut être en général contrariée par les feux de brousse et le pâturage. D'où la nécessité de la mise en défens des parcelles pour une accélération de la remontée biologique pendant les jachères de courte durée.

A Saré Yorobana où les parcelles mises en jachère font souvent l'objet de passage de feux de brousse, les stocks de biomasse microbienne et de matière organique ne semblent pas très liés aux types de gestion de la terre. En effet on ne note pas de différences nettes entre cultures et jachère. Pour le carbone et l'azote organiques, les teneurs les plus élevées ont été observées sous culture mil comparée à la jachère. Les faibles teneurs enregistrées dans ces parcelles pourraient résulter de l'action des feux qui détruit les parties aériennes de la végétation. Ainsi la restitution de la matière organique ne se fait pas correctement car une partie étant perdue sous forme de cendres. Une grande partie du carbone et de l'azote est par ailleurs perdue par combustion. D'après Young (1989), ce sont principalement les organes souterrains des végétaux qui participent à la restitution du stock de matière organique lorsque les feux sont fréquents.

D'autres facteurs comme la nature du sol peut influencer également le statut organique.

V. Effet de La fumure organique

Les résultats obtenus dans le système agroforestier de Fintel Sombe montrent l'effet bénéfique de l'apport de matière organique sur le statut microbiologique et organique du sol. Ces résultats vont dans le même sens que ceux obtenus par Badiane (1993) dans le bassin arachidier. Nous notons une augmentation de la teneur en matière organique du sol ayant reçu un apport de fumure organique (compost) par rapport aux autres traitements (inoculation de mycorhizes et témoin).

A Saré Yorobana l'intensification de la culture n'a pas eu d'effet sur le statut organique du sol. Les stocks de carbone mesurés dans les parcelles cultivées (mil et arachide) changent peu suivant le niveau de fumure appliqué. On note parfois des taux de carbone plus élevés au niveau des parcelles d'arachide n'ayant pas été fumées par rapport à celles fumées. Cela pourrait s'expliquer par le fait que ce sont en général les champs les moins fertiles (les plus dégradés) qui reçoivent la fumure de la part des paysans (Manley R, comm. pers).

Conclusion et suggestions

Les systèmes de gestion de la matière organique étudiés sont considérés comme essentiels pour la restauration de la fertilité organique des sols sableux. Le rôle de l'arbre sur l'amélioration et le maintien du statut organique et microbiologique apparaît fondamental dans les sols du Sénégal. On note une nette amélioration de la matière organique du sol sur les différents systèmes étudiés par rapport aux cultures.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus sur le système agroforestier de Bandia sont supérieurs à ceux obtenus sur les systèmes agroforestiers de Fintel Sombe et Dahra. Cela s'explique par le fait que Bandia est un système fermé d'une part et d'autre part la densité de la plantation est beaucoup plus élevée. Alors que Fintel et Dahra sont des systèmes associés à des cultures, d'où une partie de la matière organique est exportée. Les résultats attendus sur les symbioses racinaires rhizobium - acacia et mycorhizé - acacia dans les systèmes de Bandia et Fintel Sombe n'ont pas été atteints. Cela peut être dus à certains facteurs comme le climat, ou la nature du sol, qui pourraient constituer un facteur limitant.

Pour les systèmes à jachère, celle de Sonkorong offre des teneurs en matière organique plus élevées par rapport à Saré Yorobana. A Sonkorong la mise en défens des parcelles a entraîné une meilleure gestion du potentiel ligneux. A Saré Yorobana, Le passage fréquent des feux de brousse sur les parcelles constitue un frein au développement de la flore herbacée et arbustive qui contribue à la restauration de la matière organique du sol. Le prélèvement excessif du bois de chauffe, et le passage fréquent du pâturage représente également un obstacle à ne pas négliger. La réduction du temps de jachère doit être accompagnée par une gestion du potentiel ligneux, seuls aptes à la restauration de la fertilité organique. Ce qui nécessitera l'aménagement de système agroforestier avec la culture d'espèces ligneuses servant à l'alimentation en bois de village, et d'espèces fourragères pour l'alimentation du bétail.

Perspectives

Partant de ces études préliminaires, les travaux à entreprendre pourraient s'inscrire vers la recherche de moyens pour une meilleure valorisation des ressources organiques afin d'atteindre une agriculture durable. Ces travaux seront orienter vers :

- l'étude de la diversité des principaux groupes microbiens impliqués dans la décomposition de la matière organique.

- La définition des conditions édaphiques qui favorisent les groupes microbiens les mieux adaptés aux conditions du milieu, et leur impact sur la dynamique de la matière organique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AMATO, M. & LADD, J. N. (1988). Essay for microbial biomass based on ninhydrin - reactive nitrogen in extracts of fumigation soils. *Soil Biol. and Biochem.* 20 : 107-114.

BADIANE, N. A. (1993). Le statut organique d'un sol sableux de la zone centre - Nord du Sénégal. Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine : 145p.

BARTH, R. C. & KLEMMEDSON, J. O. (1978). Shrubinduced special patterns of dry matter, nitrogen, and organic carbon. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.*, 42 : 804-809.

BERGER, M. (1991). La gestion des résidus organiques à la ferme. *In* : Savanes d'Afrique, terres fertiles. *Actes des rencontres internationales*, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. Paris, Ministère de la Coopération et du Développement : 293-315.

BERNHARD-REVERSAT, F. (1981). Note sur l'influence du régime thermique et hydrique sur l'ammonification et la nitrification dans un sol de savane sahélienne. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, vol. XVIII, n° 2, 147-152.

BERNHARD-REVERSAT, F. (1982). Biogeochemical cycle of nitrogen in a semi arid savana. *Oikos* 38(3) : 321-332.

BLONDEL, D. (1971). Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral en sol sableux (Dior) au Sénégal. *Agron. trop.*, 26 (12) : 1303-1333.

BRUNCK, G., COLONNA, J. P., DOMMERGUES, T. R., DUCOSSO, M., GALIANA, A., PRIN, Y., ROEDERER, Y & SOUGOUFARA, B. (1990). La maîtrise de l'inoculation des arbres avec leurs symbioses racinaires : synthèse d'une sélection d'essais au champ en zone tropicale. *Bois et Forêt des Tropiques*, 223 : 24-42.

CESAR, J. & COULIBALY, Z. (1991). Le rôle des jachères et des cultures fourragères dans le maintien de la fertilité des terres *In* : Savanes d'Afrique, terres fertiles. *Actes des rencontres internationales*, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. Paris, Ministère de la Coopération et du Développement : 271-287.

CHOTTE, J. L. (1988). Importance de l'activité rhizosphérique dans la dynamique de reconstitution du stock organique des sols. (vertisol, Martinique), Traçage isotopique ¹⁵N. *Cah.*

ORSTOM, sér. *Pédol.*, vol. XXIV, 4 : 345-346.

CHOTTE, J. L., BLANCHART, E. & LAVELLE, P. (1995). Gestion durable des terres en milieu tropical. Régulation biologique des processus de décomposition de la matière organique. In Sustainable land management in Africa semi-arid and subhumid regions, *Proceedings of the Scope Workshop*, 15-19 Novembre 1993, Dakar Sénégal. Montpellier, France, CIRAD : 89-97.

DANSO, S. K. A., BOWEN, G. D. & SANGINGAN, N. (1992). Biological nitrogen fixation in trees in agro-ecosystems. *Plant and Soil* 141 : 177-196.

DOMMERGUES, Y. (1962). Contribution à l'étude de la dynamique microbienne des sols en zone semi-aride et en zone tropicale sèche. *Ann. Agro.* 13 : 265-324.

DOMMERGUES, Y. & GANRY, F. (1995). Arbres fixateurs d'azote : Champ ouvert pour la recherche. *Agriculture et Développement*, 7 : 38-53.

DOMMERGUES, Y. & MANGENOT, F. (1970). *Ecologie microbienne du sol.*, Paris, France, Masson : 796p.

DUCHAUFOR, PH. (1977). *Pédologie : Pédogenèse et classification.* Paris, Masson, Tome 1, 1ère édition : 28-165.

DUCHAUFOR, PH. (1991). *Sol, végétation, environnement. Abrégé de pédologie.* Paris, Masson, 3e édition : 35-101.

DUPUY, M., DETREZ, C., NEYRA, M., DE LAJUDIE, P. & DREYFUS, B. (1991). Les acacias fixateurs d'azote du sahel. *La recherche*, 233 : 802-804.

FELLER, C. (1977). Evolution des sols de défriche récente dans la région des terres neuves (Sénégal oriental). Aspects biologiques et caractéristiques de la matière organique. *Cah. ORSTOM, sér. Pédologie* 15 (3) : 291-302.

FELLER, C. (1979). Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols, application aux sols tropicaux, à textures grossières, très pauvres en humus. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 17 (4) : 339-346.

FELLER, C. (1994). La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1.1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. Doctorat d'Etat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 393p.

FELLER, C., P. LAVELLE, A. ALBRECHT & B. NICOLARDOT. (1993). La jachère et le fonctionnement des sols tropicaux : rôle de l'activité biologique et des matières organiques. Quelques éléments de réflexion. In : C. FLORET & G. SERPANTIE (Eds), la jachère en Afrique de l'ouest, *collection colloques et séminaires*. ORSTOM, Paris : 33-46.

FLORET, C., PONTANIER, R. & SERPANTIE, G. (1993). La jachère en Afrique tropicale. *Dossier MAB*, UNESCO, Paris. 16: 9-54.

GANRY, F. (1990). Application de la méthode isotopique à l'étude des bilans azotés en zone tropicale sèche. Thèse de doctorat, Université de Nancy I, France : 355p.

GODET, G. (1990). Relation entre la charge animale et la production numérique dans les troupeaux bovins sédentaires au sud du Mali. In : *Actes de séminaire sur l'élevage en zone cotonnière*, Ouagadougou, Burkina Faso, 25-29 octobre 1989. Maison-Alfort, IEMVT, Ouagadougou, CEBV : 299-306.

GREENLAND, D.J., & NYE, P.H. (1959). Increases in the carbon and nitrogen contents of tropical soils under natural fallows. *journal of science* 10 : 284-299.

GUIRAUD, G. (1984). Contribution du marquage isotopique à l'évaluation de transferts d'azote entre les compartiments organiques et minéraux dans les systèmes sol-plante. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI : 335p.

JUNG, G. (1966). Etude de l'influence de l'*Acacia albida* (Del) sur les processus microbiologiques dans le sol et sur leurs variations saisonnières. *Rapp. ORSTOM*, Dakar, 49p.

JUNG, G. (1969). Cycles biogéochimiques dans un écosystème de région tropicale sèche : *Acacia albida* (Del) Sol ferrugineux tropical peu lessivé (dior). *Ecol. Plant.*, 4 : 195-210.

KABIR, M. D. M., CHOTTE, J. L., RAHMA, M., BALLY, R. & JOCTEUR MONROZIER, L. (1994). Distribution of soil fraction and location of soil bacteria in a vertisol under cultivation and perennial grass. *Plant and Soil*, 163 : 243-255.

LAUDELOUT, H. & VAN BLADEL, R. (1967). La jachère naturelle en région tropicale humide. In : *colloque sur la fertilité des sols tropicaux*. Tananarive, Madagascar, 19-25 novembre 1967. IRAT, Paris : 1490-1497.

LANDAIS, E., LHOSTE, P. & GUERIN, H. (1991). Système d'élevage et transfert de fertilité. In : *Savanes d'Afrique, terres fertiles. Actes des rencontres internationales*, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. Paris, Ministère de la Coopération et du Développement : 219-270.

MAIGNIEN, R. (1959). Les sols subarides du Sénégal. *Agronomie Tropicale*, septembre - octobre 1959 : 535-571.

MAIGNIEN, R. (1965). Notice explicative ; carte pédologique du Sénégal en 1/1000.000 ORSTOM, Dakar : 63p. + 1 carte.

MANLEY, R. (1997). Etude de la dynamique de quelques compartiments organiques sur un terroir agropastoral de haute Casamance, Sénégal. Rapport d'avancement de première année de thèse. ORSTOM, Programme Jachère / LCSC - CIRAD - EMVT - Ecole Doctorale de L'ENGREF : 52 p.

MOUREAUX, C. (1967). Influence de la température et de l'humidité sur les activités biologiques de quelques sols Ouest - Africains. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, vol.V, n° 4: 393-417.

NIANG, A. (1995). Caractérisation pédophysique des sites d'essai du programme jachère au Sénégal, à Sonkorong (Nioro du Rip) et Saré Yorobana (Kolda). Mémoire d'Ingénieur de Conception en Géologie de l'Institut des Sciences de la Terre de l'UCAD, Dakar, 45p.

NICOLARDOT, B., CHAUSSOD, R. & CATROUX, G. (1982). Revue des principales méthodes disponibles pour la mesure de la biomasse microbienne et ses activités. In : *Bulletin de l'association Française pour l'étude du sol*, 4 : 253-261.

PAUL, E. A. & CLARK, F. E. (1989). Soil Microbiology and Biochemistry. *Academic Press*, London.

PELISSIER, P. 1966. Les paysans du Sénégal. Les civilisations agraires du Cayor à la

Casamance. *Saint-Yrieix, imp. Fabrège, 940p.*

PELTIER, R. (1991). L'arbre dans les terroirs villageois. *In* : Savanes d'Afrique, terres fertiles. *Actes des rencontres internationales*, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. Paris, Ministère de la Coopération et du Développement : 507- 530.

PICHOT, J. (1978). Rôle de la matière organique dans la fertilité des sols. *Agron. Trop.*, 30 (2) : 50-75.

PIERI, C. (1985). Bilans minéraux des systèmes de cultures pluviales en zone arides et semi-aride. *Agronomie tropicale* ., 40 : 88-97.

PIERI, C. (1989). Fertilité des terres de savanes. Montpellier, France, Ministère de la coopération / CIRAD : 61-333.

PIERI, C. (1991). Les bases agronomiques de l'amélioration et du maintien de la fertilité des terres de savanes au sud du Sahara. *In* : Savanes d'Afrique, terres fertiles ? *Actes des Rencontres Internationales*. Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. Ministère de la Coopération, Paris : 43-74.

SANCHEZ, P. A. (1976). Properties and Management of soil in the tropics. *London John Wiley and Sons ed* : 618p

SIBAND, P. (1972). Etude de l'évolution des sols sous culture traditionnelle en Haute Casamance. Principaux résultats. *L'Agron. Trop.*, 27 (5) : 574-591.

SIBAND, P. (1974). Evolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. *L'agron. trop.*, 29 (12) : 1228-1248.

SSALI, H., ANH, P. M., & MOKWUNYE, A. (1986). Fertility of soils of tropical Africa : a historical perspective. Management of nitrogen and phosphorus fertilizers in Sub - Saharan Africa. *In* : A.U. MOKWUNYE & VLEK, P.L.G. (Eds) Development in plant and Soil Science. *Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht*, Vol. 24 : 59-82.

SWIFT, M.J. (1984). Soil biological processes and fertility (TSBF). *Planning for reseach. Biol. int.*, 9 : 24p.

SWIFT, M. J. (1987). Tropical soil biology and fertility (TSBF). *Planning for reseach. Biol. int.*, 9 : 24p.

WILLIAMS, S.T., SHAMEEMULLAH, M., WATSON, E. T. & MAYFIELD, C. I. (1972). Studies on the ecology of actinomycetes in soil. VI. Influence of moisture tension on growth and survival. *Soil Biol. Biochem.* 4 : 215-225.

YOUNG, A. (1989). Agroforestry for soil conservation. CAB International, Wallingford and ICRAF, Nairobi.

LISTES DES ILLUSTRATIONS

	Pages
Figure 1 : Carte des isohyètes (1951-1980) et localisation des sites d'étude au Sénégal.	8
Figure 2 : Représentation schématique du flux de carbone et d'azote entre différents compartiments organiques du sol.	17
Figure 3 : Schéma d'un bloc avec différents types d'arbres inoculés avec des souches de rhizobium (dispositif expérimental de Bandia).	20
Figure 4 : Schéma d'un bloc avec les différents cultures associées (dispositif expérimental de Dahra).	21
Figure 5 : Biomasse microbienne totale ($\mu\text{g C g}^{-1}$ sol) du sol (horizon 0-10 cm) dans le terroir villageois de Saré Yorobana : effets de l'âge de la jachère, de l'intensification des cultures et de leur position topographique.	25
Figure 6 : Biomasse microbienne totale ($\mu\text{g C g}^{-1}$ sol) du sol (horizon 0-10 cm) dans le système à jachère de Sonkorong : effets de l'âge et de la mise en défens.	26
Figure 7 : Biomasse microbienne totale ($\mu\text{g C g}^{-1}$ sol) du sol (horizon 0-10 cm) dans le système agroforestier de Bandia : effets de l'inoculation initiale.	29
Figure 8 : Biomasse microbienne totale ($\mu\text{g C g}^{-1}$ sol) du sol (horizon 0-10 cm) dans le système agroforestier de Fintel Sombe : effets du couvert arboré et du traitement initial.	30
Figure 9 : Biomasse microbienne totale ($\mu\text{g C g}^{-1}$ sol) du sol (horizon 0-10 cm) dans le système agroforestier de Dahra.	31
Tableau 1 : Caractéristiques des parcelles de Saré Yorobana (Manley, 1997).	18
Tableau 2 : Caractéristiques des parcelles de Sonkorong ayant fait l'objet de nos prélèvements.	20

Tableau 3 : Teneurs en carbone et azote organiques (mg g⁻¹ sol) du sol (horizon 0-10 cm) 27
dans le système à jachère de Saré Yorobana.

Tableau 4 : Teneurs en carbone et azote organiques (mg g⁻¹ sol) du sol (horizon 0-10 cm) 27
dans le système à jachère de Sonkorong.

Tableau 5 : Teneurs en carbone et azote organiques (mg g⁻¹ sol) du sol (horizon 0-10 cm) 33
dans le système agroforestier de Bandia.

Tableau 6 : Teneurs en carbone et azote organiques (mg g⁻¹ sol) du sol (horizon 0-10 cm) 34
dans le système agroforestier de Fintel Sombe.

Tableau 7 : Teneurs en carbone et azote organiques (mg g⁻¹ sol) du sol (horizon 0-10 cm) 35
dans le système agroforestier de Dahra.

ANNEXES

Annexe 1

Dosage de la biomasse microbienne totale

Tous les échantillons de sol ont été tamisés à 2 mm afin d'éliminer les gravillons et les résidus végétaux. Nous effectuons deux prises d'essai de 10 g de sol par échantillon, la première pour la mesure de la biomasse au temps zéro (T₀) et la seconde pour la mesure de la biomasse après 10 jours d'incubation (T₁₀).

1. Pré-incubation

Une pré-incubation à une humidité mesurée à pF 2,2 est effectuée à 28 °C à l'étuve pendant une semaine. Les échantillons de sol sont recouverts avec du parafilm afin d'éviter l'évaporation. Après huit jours de pré-incubation nous procédons à l'extraction au KCl pour le T₀ et à la mise en incubation pour le T₁₀.

2. Incubation au chloroforme

L'incubation se fait à 28 °C pendant 10 jours dans une atmosphère saturée en chloroforme (CHCl₃) destinée à tuer les micro-organismes du sol. Nous utilisons des dessiccateurs à vide, entourés de papier aluminium afin de faire l'obscurité à l'intérieur. Les bâteaux contenant le sol préalablement pré-incubé sont placés à l'intérieur du dessiccateur. Nous en ajoutons deux autres, l'un contenant du papier-filtre imbibé d'eau afin de maintenir une humidité convenable à l'intérieur des dessiccateurs, et l'autre contenant quelques billes de verre et 30 à 40 ml de chloroforme qui servira à la fumigation. Ensuite nous faisons le vide avant de placer le dessiccateur à l'obscurité pendant 10 jours. Au dixième jour d'incubation, nous procédons à l'extraction.

Remarque : Le CHCl₃ a été débarrassé de l'éthanol qui le stabilisait par filtration sur de l'alumine activée par passage à l'étuve (105 °C pendant 4 heures).

3. Extraction au KCL 2M

L'extraction au KCL (2M) de l'azote alpha aminé se fait de la même façon pour tous les échantillons, que se soit avant (T₀), ou après fumigation (T₁₀). Le sol contenu dans les bâteaux est transvasé dans des pots en plastique de 100 ml, on ajoute 37,5 ml de KCl (2M) dans chacun des pots. Ces derniers sont ensuite placés sur un agitateur va et vient pendant une heure. Avec l'aide d'une seringue nous prélevons 10 ml d'extrait qui sont filtrés à 0,45 µm à l'aide d'unités de filtration de type swinnex. Le filtrat est ensuite recueilli dans des flacons à scintillation ; si le dosage n'est pas effectué dans les 48 heures, les échantillons seront conservés au congélateur.

4. Dosage de l'azote microbien

Les échantillons sont mis à décongeler 4 heures avant le dosage à la température ambiante.

* Préparation de la gamme

Il s'agit d'une gamme étalon à trois points (0, 7 et 14) contenant respectivement 0, 7, et 14 µg/ml d'azote alpha aminé. Ces points de gammes sont préparés à partir d'une solution de leucine. La droite de régression obtenue à partir de ces trois points de gamme nous permet de calculer les quantités d'azote alpha aminé contenues dans les extraits après le dosage. Nous utilisons la solution de KCl 2M comme solution de complément pour la préparation de la gamme

* Dosage

Le dosage de l'azote alpha aminé se fait en présence de réactif à la ninhydrine. Les échantillons et les points de gamme sont préparés en mélangeant 1 ml d'extrait avec 1 ml de réactif dans un tube à essai de 70 ml. Les tubes sont bouchés avec du parafilm et plongés dans un bain marie à 100 °C pendant 15 mn. Après les avoir refroidi sous un courant d'eau, nous ajoutons 13 ml d'éthanol à 50 % et passons rapidement à la colorimétrie. Lorsque l'azote alpha aminé est chauffé en présence de réactif à la ninhydrine il se forme un composé de couleur pourpre qui peut être mesuré en colorimétrie. La lecture de la densité optique se fait à la longueur d'onde 570 nm.

* Description du Technicon

Tous les dosages de la biomasse microbienne de même que ceux du carbone et l'azote organiques ont été effectués sur le technicon. Il s'agit d'une chaîne d'analyse colorimétrique à flux continu qui nous permet d'automatiser les analyses. La chaîne est composée d'un préleveur d'échantillon, d'une pompe proportionnante et d'un colorimètre relié à un appareil enregistreur. Les échantillons prélevés sont aspirés par la pompe et acheminés vers le colorimètre. Les hauteurs des pics sont ensuite enregistrés par une table traçante.

5. Calcul de la biomasse microbienne totale

La quantité d'azote alpha aminé apparu au cours de la fumigation est obtenue en faisant la différence entre la quantité d'azote alpha aminé au temps T₁₀ (après 10 jours d'incubation) et celle au temps T₀. Cette quantité d'azote alpha aminé est fonction de la biomasse microbienne présente dans le sol avant fumigation ; elle est exprimée en µg d'azote / g de sol sec.

$$N_m = \{(NT_{10} \times V) / P_{10} - (P_{10} \times H)\} - \{(NT_0 \times V) / P_0 - (P_0 \times H)\}$$

N_m = Azote microbien (ug N g⁻¹ sol sec)

NT₀ = Azote alpha aminé mesuré dans les extraits KCl au temps T₀ (µg d'N/ ml)

NT10 = Azote alpha aminé mesuré dans les extraits KCl après incubation de 10 jours ($\mu\text{g d}'\text{N}$ ml)

V= volume de KCl utilisé pour l'extraction = 37,5 ml

P0 et P10 = Poids de l'échantillon frais (g)

H= humidité de l'échantillon en %

Les résultats sont exprimés en $\mu\text{g C g}^{-1}$ sol sec selon la relation

$$C_m (\mu\text{g/ g sol sec}) = 21 \times N_m (\mu\text{g / g sol sec})$$

Annexe 2

Dosage du carbone organique

Nous procédons d'abord à un broyage des échantillons et un tamisage à 200 µm afin de faciliter l'oxydation du carbone par le bichromate de potassium.

1. Préparation de la gamme étalon

Il s'agit de différents points contenant des quantités de carbone connues ; la droite de régression obtenue à partir de ces points de gammes nous permet de calculer la quantité de carbone contenue dans les échantillons de sol.

Une gamme obtenue à partir d'une solution de glucose est utilisée pour le dosage du carbone. Elle est composée de trois points (0, 4 et 8), contenant respectivement 0, 1, et 2 ml de solution de glucose à la concentration de 4 mg par ml. Les prélèvements de solution de glucose sont préalablement séchés à l'étuve à 80 °C avant de passer à l'oxydation.

2. L'oxydation du carbone

L'oxydation du carbone en milieu sulfurique provoque l'apparition des ions Cr^{3+} qui provoque une coloration verte dosée en colorimétrie. Elle se fait en même temps sur les échantillons et sur les points de gamme. Après le tamisage une prise de 1g de sol par échantillon est effectuée dans un erlenmeyer de 70 ml. Le nombre de répétition de mesure est fixé à 2.

L'oxydation se fait en ajoutant 5 ml de bichromate de potassium à 5 % et 7,5 ml d'acide sulfurique concentré dans chaque erlenmeyer. Ces derniers sont ensuite déposés sur une plaque chauffante à 230 °C sous la hotte. Le chauffage dure 5 mn à partir de l'ébullition. Le carbone contenu dans l'échantillon est oxydé en gaz carbonique par la solution de bichromate de potassium suivant la réaction :



Après refroidissement les échantillons sont transvasés dans des fioles de 50 ml, et nous y ajoutons de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Nous laissons décanter pendant une nuit et passons ensuite au dosage.

3. Dosage

La quantité d'ion Cr^{3+} libérée après que le carbone soit mis en contact avec la solution de bichromate de potassium provoque l'apparition d'une couleur bleu - verdâtre que l'on peut doser en colorimétrie à la longueur d'onde 570 nm. Cette quantité d'ion Cr^{3+} ainsi formée est proportionnelle à la quantité de carbone qui a été oxydée.

4. Calcul du taux de carbone

La quantité de carbone contenue dans l'échantillon de sol est calculée à partir de la formule :

$$C = Q / (P \times (100 - H)) / 100$$

C = concentration en carbone de l'échantillon exprimée en g de carbone par kg de sol sec,

Q = quantité de carbone mesurée dans l'échantillon de sol en g,

P = poids de la prise de sol (en g),

H = Facteur d'humidité en % de sol sec.

Remarque

Si nous obtenons des quantités de carbone supérieures à la gamme (échantillons riches en carbone) il nous faudra reprendre le dosage en utilisant cette fois-ci une gamme à 4 points (0, 8, 16 et 24). Dans ce cas l'oxydation du carbone se fera avec une solution de bichromate de potassium à 8 % et le volume final ajusté à 100 ml.

Annexe 3

Dosage de l'azote organique

Comme pour le dosage du carbone total, les échantillons de sol sont broyés puis tamisés à 200 μm afin de faciliter la minéralisation.

1. Minéralisation de l'azote

La minéralisation de l'azote se fait en ajoutant 6,5 ml d'acide sulfurique dans chaque tube contenant notre échantillon de sol (0,5 g). Nous ajoutons 2 g de catalyseur de minéralisation (1/2 comprimé Kjeldahl) dans chaque tube. Ces derniers sont ensuite placés sur un bain sec, sous la hotte et chauffés à 350 °C jusqu'à obtenir une limpidité totale du contenu du matras. Le chauffage dure 2 heures mais peut être prolongé suivant la quantité d'azote contenue dans notre échantillon. Après avoir laissé refroidir, nous ajoutons 50 ml d'eau distillée. Ensuite le contenu est transvasé dans des fioles de 100 ml et ajusté jusqu'au trait de jauge. La décantation dure une nuit. Le lendemain nous passons au dosage.

2. Dosage colorimétrique

* Préparation de la gamme

Une gamme faite à partir d'une solution à 100 mg d' N par NH_4 / litre est utilisée pour le dosage. Pour cela une solution mère est préparée en dissolvant 4,729 g de sulfate d'ammonium préalablement séché à l'étuve à 105 °C dans un bêcher de 500 ml contenant de l'eau distillée. La solution fille est préparée en diluant 50 ml de la solution mère dans 500 ml d'eau distillée. La gamme proprement dite se compose de 6 points : 0, 1, 2, 3, 4, 5 mg de N - NH_4 / Litre. Nous utilisons de l'acide sulfurique 15 % comme solution de complément pour la préparation de la gamme.

Les points de gamme sont préparés suivant le tableau :

Point de gamme (ppm)	Solution fille (ml)	Solution de complément
0	0	100
1	1	99
2	2	98
3	3	97
4	4	96
5	5	95

*** Dosage**

Le dosage colorimétrique de l'azote ammoniacal est réalisé selon la réaction de Berthelot au bleu d'indophénol.

Nous utilisons 3 réactifs pour le dosage de l'azote.

Le Premier réactif sert à "complexer" le magnésium ainsi que les métaux tels que le fer, le titane, etc. qui pourraient interférer sur le dosage ; il est constitué d'un mélange d'EDTA et de tartrate double de sodium et potassium.

Pour obtenir le maximum de coloration pour la réaction avec l'indophénol il faut un pH compris entre 10 et 13. Pour cela nous utilisons un autre réactif : le dichlorocyanurate de sodium. Le colorant étant préparé à base de salicylate et de nitroprussiate de sodium.

Avec l'aide du préleveur d'échantillon (voir description technique en annexe 1), l'extrait obtenu après minéralisation est mélangé avec les trois réactifs et forme une coloration jaunâtre dont l'intensité est mesurée avec le colorimètre. La lecture de la densité optique se fait à la longueur d'onde 660 nm.

3. Calcul de l'azote total

La quantité d'azote contenue dans l'échantillon de sol est calculée à partir de la formule:

$$N = Q \times V / (P \times (P - H / 100))$$

N = concentration en carbone de l'échantillon exprimée en g d'azote par kg de sol sec,

Q = quantité d'azote mesurée dans l'échantillon de sol en g,

V = Volume de dilution (en litre)

P = poids de la prise de sol (en g),

H = Facteur d'humidité en % sol sec

Annexe 4

Mesure du taux d'humidité

1. Humidité à 105 °C

Avant chaque série d'analyse, nous procédons d'abord à des mesures d'humidité du sol à 105 °C, car cette mesure intervient dans le calcul final de la biomasse microbienne et du taux de matière organique.

Après avoir pesé le bêcher à vide (tare) nous ajoutons environ 10 g de sol. Le poids humide (Ph) du sol correspond à la tare + les 10 g de sol. Les bêchers sont mis à l'étuve à 105 °C. Après 48 heures nous mesurons le poids sec (Ps) qui est égale à la tare + le poids de sol sec. Le taux d'humidité exprimé en % de sol sec est égale à :

$$H = (Ph - Ps) * 100 / Ps$$

H = humidité du sol en % sol sec,

Ph = poids de sol humide (en g)

Ps = poids de sol sec (en g)

2. Humidité à la capacité de rétention

Après avoir pesé le cylindre vide entouré de papier filtre préalablement imbibé d'eau (tare), nous ajoutons environ 10 g de sol (P1). Le sol est humecté par ascensum à l'aide d'éponges imbibées d'eau. Nous mesurons le poids du cylindre contenant le sol humide (P2). Ensuite nous exerçons une succion sur le sol imbibé en plaçant les cylindres sur des coupelles contenant 50 g de sol et recouvert avec du papier filtre. Ces derniers sont ensuite placés à l'étuve à 28 °C et recouverts de parafilm afin d'éviter l'évaporation. Nous mesurons le poids humide (qui est égale à la tare + poids de sol humide) toutes les 30 mn.

Pour chaque temps correspondant, le taux d'humidité exprimé en % de sol sec est égal à :

$$H = [Ph - Ps] / Ps$$

Ph (t) = (P2 - P1) + 10

P2 = Tare + sol humide au temps T

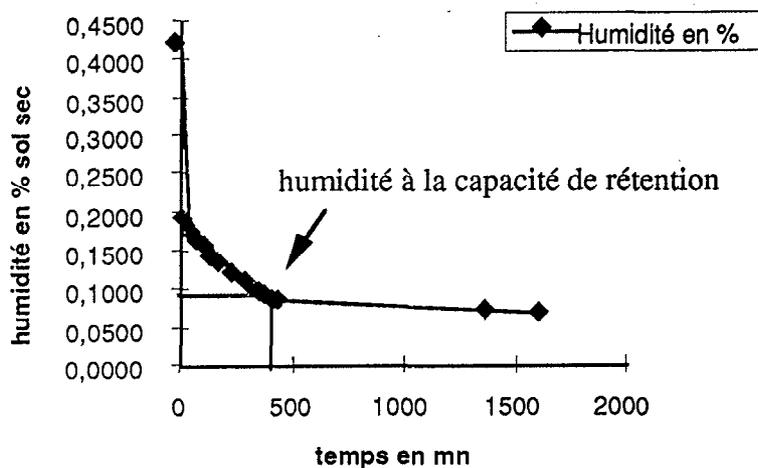
P1 = Tare + sol sec

10 = 10 g de sol

Ps = 10 g sol - h à 105 °C

Exemple : Pour un échantillon de sol donné, dont les humidité en % de sol sec sont représentées dans le tableau suivant, nous pouvons déterminer l'humidité à la capacité de rétention à partir de la courbe :

Temps en mn	Humidité en %
0	0,4212
40	0,1919
70	0,1737
100	0,1626
130	0,1556
160	0,1424
190	0,1374
250	0,1232
310	0,1101
340	0,1030
370	0,0970
400	0,0929
430	0,0879
460	0,0859
1390	0,0727
1630	0,0687



Humidité en % de sol sec en fonction du temps

L'humidité à la capacité de rétention (humidité à pF 2,2) correspond au point à partir duquel nous avons une constante. Si nous nous référons sur le tableau ce point correspond au temps $t = 430$ mn dont l'humidité équivalente est égale à 0,0879.

Chaque échantillon de sol a été pré-incubé à une humidité équivalente à sa capacité de rétention. La quantité d'eau à ajouter pour atteindre cette humidité a été calculée à partir de la formule suivante :

$$\text{Eau} = [H_{\text{Cr}} \times P_s] - H$$

H_{Cr} = humidité à la capacité de rétention

P_s = poids de sol sec

H = humidité du sol à 105° C

Titre : Statut organique et microbiologique des sols dans des systèmes agroforestiers et à jachère du Sénégal.

Nom de la candidate : Ndèye Yacine BADIANE

Jury :
Président : Pr Amadou Tidiane BA
Membres : Dr François MATTY (rapporteur)
Dr Aminata NIANE BADIANE
Dr Jean Luc CHOTTE
Dr Séga SOUMARE

RESUME : Le statut organique et microbiologique des sols du Sénégal a été étudié dans trois systèmes agroforestiers (Bandia, Fintel Sombe, Dahra) et deux systèmes à jachères (Saré Yorobana, Sonkorong). L'impact des différents modes de gestion de la matière organique sur la biomasse microbienne et sur le statut organique des sols a été déterminé. Pour les systèmes à jachère, nous avons comparé l'âge de la jachère avec des cultures suivant leur niveau d'intensification d'une part (Saré Yorobana), et les différents modes de gestion de la jachère (en défens ou anthropisée) avec des cultures seules d'autre part (Sonkorong). Pour les systèmes agroforestiers, la comparaison entre différents espèces d'arbres, principalement des arbres fixateurs d'azote et l'effet du couvert arboré (sous couvert et hors couvert) a été étudié. Par ailleurs, suivant les dispositifs les effets des divers traitements comme l'inoculation de rhizobium (Bandia) ou de mycorhizes (Fintel Sombe), l'apport de fumure organique (Fintel Sombe) ou la présence de cultures associées (Dahra) ont été également étudiés.

Dans l'ensemble l'effet bénéfique de l'arbre par rapport aux cultures s'est traduit par une augmentation significative du statut organique et microbiologique du sol dans les différents systèmes étudiés (agroforestiers et jachère). Parmi les différents traitements associés à l'arbre dans les systèmes agroforestiers, seul l'apport de fumure organique a entraîné une augmentation du statut organique et microbiologique du sol par rapport au traitement témoin. L'effet de l'inoculation des souches de rhizobium sur les légumineuses est nul à l'exception de celles réalisées sur *Acacia senegal*. Pour les systèmes à jachère, l'effet du mode de gestion (jachère en défens ou anthropisée, niveau d'intensification des cultures) n'a pas été perceptible sur le potentiel organique des sols dans le système de Saré Yorobana.

Ces phénomènes soulignent dans l'ensemble le rôle fondamental de l'arbre sur l'amélioration, du statut organique et microbiologique des sols du Sénégal.

Mots clés : Biomasse microbienne, Statut organique, Systèmes agroforestiers, Systèmes à jachère, Sols ferrugineux tropicaux, Sénégal.