

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

**FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
INSTITUT DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT**

N° D'ORDRE : 102



THESE

DE TROISIEME CYCLE

***PRESENTEE POUR OBTENIR LE GRADE DE
DOCTEUR EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT***

PAR

Sami Hyacinthe KAMBIRE

SUJET :

**SYSTEMES DE CULTURE PAYSANS ET PRODUCTIVITE DES SOLS
FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVES DU PLATEAU CENTRAL
(BURKINA FASO) : EFFETS DES RESTITUTIONS ORGANIQUES**

SOUTENUE LE 12 FEVRIER 1994

JURY :

NONGONIERMA BA SEDOGO	ANTOINE, EL HADJ AMADOU TIDIANE, P. MICHEL,	Professeur U.C.A.D de Dakar Professeur U.C.A.D de Dakar Charge de Recherche CNRST- Ouaga	PRESIDENT RAPPORTEUR RAPPORTEUR
NDIAYE	JEAN PIERRE,	Directeur de Recherche ISRA- Dakar	EXAMINATEUR
SOUMARE MATTY	SEGA, FRANÇOIS ,	Maitre-Assistant U.C.A.D de Dakar Maitre-Assistant U.C.A.D. de Dakar	EXAMINATEUR EXAMINATEUR

AVERTISSEMENT

"Par délibération, la Faculté et l'Institut ont décidé que les opinions émises dans les dissertations qui leur seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'ils n'entendent leur donner aucune approbation, ni improbation".

A mon grand père in memoriam

A mes parents,

à mes frères et soeurs

A Georgette mon épouse et à notre fils Angélo

REMERCIEMENTS

Ce document met un terme à une formation post-universitaire débutée depuis 1987 à l'Institut des Sciences de l'Environnement de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar.

Il m'offre l'agréable plaisir d'exprimer ma profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué de quelque manière que ce soit à sa réalisation. Mes remerciements vont particulièrement :

- aux membres du jury qui ont bien voulu consacrer leur temps à la lecture et au jugement de ce travail ;

- au Professeur El Hadj Amadou Tidiane BA, Directeur de l'Institut des Sciences de l'Environnement (I.S.E) qui a autorisé mon admission à l'I.S.E. et accepté assurer la direction de ma thèse ; au cours de cette formation, j'ai bénéficié de votre grande compréhension qui a d'ailleurs permis de surmonter les difficultés liées à l'éloignement ;

- au Directeur de l'Institut d'Etudes et de Recherches Agricoles (IN.E.R.A.), Monsieur Célestin BELEM pour m'avoir accordé les facilités administratives et offert le cadre matériel pour la réalisation de ce travail ;

- au Chef du Programme E.S.F.I.M.A., Monsieur François LOMPO pour mon admission au sein de son équipe ; je profite par la même occasion pour témoigner ma vive reconnaissance à l'ensemble des chercheurs du Programme E.S.F.I.M.A. pour l'ambiance amicale au sein de laquelle j'ai travaillé durant mon stage ;

- à Monsieur Michel SEDOGO, Directeur du C.N.R.S.T., Chercheur à l'IN.E.R.A. pour m'avoir proposé un thème si passionnant et accepté la charge de diriger entièrement ce stage ; pour également avoir mis à ma disposition les moyens nécessaires à sa réalisation ;

- à Monsieur W. GUENDA, Maître-assistant à la Faculté des Sciences et Techniques de Ouagadougou, pour sa bienveillante attention, son soutien constant et sa franche collaboration tout le long de ce stage ;

- à Messieurs Victor HIEN et Lamourdia THOMBIANO, chercheurs à l'IN.E.R.A, pour leur contribution à l'amélioration de ce document ;

- à Monsieur François Matty, Maître-Assistant à l'Institut des Sciences de l'Environnement de Dakar, pour son esprit ouvert ayant permis d'avoir de riches discussions qui ont contribué à enrichir ce travail ;

- à Madame Aminata NIANE BADIANE, Messieurs Jean Pierre NDIAYE et Mamadou GUEYE, tous chercheurs à l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, pour leur constante collaboration ; trouvez ici l'expression de mon amitié sincère ;

- à Messieurs François ABOU et Seydou TRAORE, Chefs de station de Saria, Albert BARRO Responsable du Programme E.S.F.I.M.A. à Saria pour les différents services rendus ;

- aux différents chercheurs impliqués dans l'exécution du projet pluridisciplinaire "Mécanismes d'Agrégation des Sols Tropicaux pauvres en argiles gonflantes", en particulier Messieurs Alain ANGE (IRAT-MONTPELLIER), L. LAVILLE-TIMSIT et Paul LECOMTE (BRGM-ORLEANS), Philippe DUTARTRE et François BARTOLI (CNRS-NANCY) et enfin Wilhem HOOGHMOED (Université de WAGENINGEN), avec qui j'ai appris beaucoup de choses sur le terrain ;

- aux différents responsables et agents des services de documentation que j'ai fréquentés notamment les services de documentation de l'O.R.S.T.O.M. (OUAGADOUGOU et DAKAR), du C.I.D., du C.I.R.A.D., de l'IN.E.R.A-Station de Saria et direction générale, du C.N.R.S.T., du C.N.R.A. de Bambey au Sénégal, du C.I.E.H., du P.N.U.D-Burkina Faso pour leur disponibilité ;

- aux techniciens et ouvriers des laboratoires E.S.F.I.M.A. de Saria et Kamboinsé : Omer SOUBEIGA, Jean Claude SAWADOGO, Martin RAMDE, Lissané KABRE, Michel TOUMDE, Adama BANDAOGO, Jean Baptiste SOURWEIMA, Issa ILBOUDO (in memoriam) et Jean Paul KABORE ;

- aux techniciens et ouvriers de la station de Saria qui ont connu avec moi l'ardeur du soleil, la pluie et les risques de morsures de serpents au cours de mes travaux de terrain : Grégoire PALE, Didier KABORE, Gilbert KABRE, Antoine W. OUEDRAOGO et Taïbou KABRE ;

- aux braves paysans de Vili et Nandiala pour leur fructueuse collaboration ;

- à Messieurs Sansan YOUL et Sita OUEDRAOGO pour leur contribution fort louable au traitement des données ;

- à mon épouse ainsi qu'à Madame DA Christine pour la saisie du document.

Les conditions de vie et de travail particulièrement difficiles endurées au cours de ces quatre années de stage n'auraient pu être supportables et permettre la réalisation de ce travail sans l'appui matériel et moral des parents, amis et hommes de bonne foi. C'est donc une immense joie pour moi qu'une occasion me soit enfin offerte pour leur exprimer ma sincère reconnaissance. Je m'adresse particulièrement à :

- mes parents et beaux-parents, les familles Benoît KAMBIRE, Domboulté DA, Dominique KAMBIRE, Richard KAMBIRE, Ousséini LAMOUCRI ;

- mes chers amis Théophile KABORE, Mamadou FOFANA, Joseph Issaka BOUSSIM et familles respectives, Victorien Marie HIEN, El Hadj TRAORE, Inoussa OUEDRAOGO, Issaka OUEDRAOGO, Mahamadi DIANDA, Maurice RAMDE et Jean BADO.

TABLE DES MATIERES

Titres	Pages
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DU CADRE DE L'ETUDE	3
1.1. Les caractéristiques générales du Plateau Central	4
1.1.1. Climat et végétation	5
1.1.2. Géomorphologie et pédologie	5
1.1.3. Population et systèmes de production	6
1.2. Le contexte particulier des terroirs étudiés	9
1.2.1. le milieu physique	9
1.2.1.1. La végétation	9
1.2.1.2. Le climat	9
1.2.1.3. La géologie et la géomorphologie	11
1.2.1.4. La morphe-pédologie	11
1.2.1.4.1. Les unités de la toposéquence de Nandiala	12
1.2.1.4.2. Les unités de la toposéquence de villi	13
1.2.1.5. Caractéristiques physiques et chimiques des sols	14
1.2.2. Caractéristiques des exploitations agricoles et des systèmes de culture	14
CHAPITRE II : METHODOLOGIE	19
2.1. Les enquêtes de terrain et prélèvement de sol	20
2.1.1. Enquêtes de terrain	20
2.1.2. Prélèvements de sol	21
2.2. METHODES DE LABORATOIRE	22
2.2.1. Analyses physiques et chimiques	22
2.2.2. Fractionnement granulométrique de la matière organique	24
2.2.3. Analyses microbiologiques	24
2.3. Constitution de sous-échantillons	26
2.3.1. Sous-échantillon « couples de parcelles »	26
2.3.2. Sous-échantillon « biomasse microbienne »	28
CHAPITRE III : EFFETS DE LA MATIERE ORGANIQUE SUR LES RENDEMENTS ET LES COMPOSANTES DU RENDEMENT DU SORGHO	30
3.1. Evolution des rendements et composantes du rendement du sorgho en fonction de l'âge des parcelles	32
3.2. Effet de la fumure organique sur les composantes du rendement et le rendement du sorgho	33
CHAPITRE IV : EFFETS DE LA MATIERE ORGANIQUE SUR LES PARAMETRES CHIMIQUES DU SOL	37
4.1. Evolution de quelques paramètres chimiques du sol	38
4.2. Effet de la fumure organique sur les paramètres chimiques du sol	39
4.3. Relation entre les paramètres chimiques et les rendements des cultures	45
Discussions-conclusion :	43
CHAPITRE V : EFFETS DES SYSTEMES DE CULTURE PAYSANS SUR LES COMPARTIMENTS GRANULOMETRIQUES DE LA MATIERE ORGANIQUE	54
5.1. Caractéristiques générales de la matière organique des fractions	56
5.2. Effet de l'âge de mise en culture sur l'évolution du carbone des fractions granulométriques	59
CHAPITRE VI : EVOLUTION DE L'ACTIVITE MICROBIOLOGIQUE DES SOLS	67
6.1. Evolution de la biomasse microbienne en fonction de l'Âge de mise en culture	69

6.2.Relation entre la biomasse microbienne et la respiration du sol	72
6.3. Activité respiratoire des sols	73
6.4. Relation entre la quantité de carbone dégagée en 21jours d'incubation et les compartiments granulométriques de la matière organique	81
CONCLUSION GENERALE	91
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	95
ANNEXES	116

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Pages
Tableau 1. Variabilité fréquentielle de la pluviométrie annuelle. Période 1970-1987. Station de Saria	10
Tableau 2. Variabilité fréquentielle de la pluviométrie mensuelle (en mm) au cours de la période 1970-1987 Station de Saria	10
Tableau 3. Teneurs en éléments totaux de quelques amendements organiques	18
Tableau 4 : Caractéristiques physiques des sols de l'échantillon « couples de parcelles ».	27
Tableau 5 : Caractéristiques des champs et des sols du « sous-échantillon biomasse microbienne ». horizon 0-20 cm	29
Tableau 6 : Evolution des rendements et composantes du rendements du sorgho en fonction de l'âge des parcelles	33
Tableau 7 : Effet de la fumure organique sur les composantes du rendement et le rendement du sorgho	35
Tableau 8 : :Matrice de corrélation entre certaines variables	36
Tableau 9 : Evolution des paramètres chimiques en fonction de l'age de mise en culture	38
Tableau 10 : Effet de la fumure organique sur les caractéristiques chimiques du sol	42
Tableau 11: Contributions relative des variables (%) à la formation des 3 premiers axes factoriels	46
Tableau 12. Caractéristiques principales des fractions granulométriques : domaine de variation et moyenne pour l'ensemble des échantillons (n = 27).	58
Tableau 13 Répartition du carbone (mg C/ g de sol sec) dans les fractions granulométriques du sol de champs d'âges différents.	60
Tableau 14 : Paramètres des courbes d'évolution du stock de carbone des différents compartiments granulométriques	61
Tableau 15: Paramètres microbiologiques des sols du « sous-échantillon biomasse microbienne ». horizon 0-20 cm	65
Tableau 16: Quantités de carbone minéralisé par semaine en fonction de l'âge des champs	71
Tableau 17 : Paramètres des équations décrivant l'évolution du Carbone minéralisé par jour	77
Tableau 18 : Paramètres des équations	78
Tableau 19 : Effet de la fumure organique sur la biomasse microbienne et le carbone dégagé	82

LISTE DES FIGURES

Figures ou Cartes	Pages
Carte 1 : Localisation du Plateau Central	4
Carte 2 : Les Sols du Burkina Faso	8
Carte 3 : carte morphopédologique des sols des terroirs de Vili et Nandiala	17
Figure 1 : Représentation graphique des variables selon le plan 1-2	47
Figure 2 : Représentation graphique des variables selon le plan 1-3	48
Figure 3 : Représentation graphique des individus selon le plan 1-2	49
Figure 4: Représentation graphique des individus selon le plan 1-3	50
Figure 5 : Evolution du carbone total du sol non fractionné en fonction de la durée de mise en culture.	62
Figure 6 : Evolution du carbone total de la matière organique de la fraction F[50-200] en fonction de la durée de mise en culture.	63
Figure 7 : Evolution du carbone total de la fraction F[200-2000] en fonction de la durée de mise en culture	63
Figure 8 : Evolution du carbone total de la matière organique de la fraction F[0-50] en fonction de la durée de mise en culture.	64
Figure 9: Schéma des relations étudiées	69
Figure 10 : Evolution de la biomasse microbienne en fonction de l'âge des parcelles : C-biomasse exprimé en mgC.kg-1 sol	71
Figure 11 : Evolution de la biomasse microbienne en fonction de l'âge des parcelles : C-biomasse et N-biomasse exprimé en % de C total ou N total	72
Figure 12 : Relation entre le carbone minéralisé en 21 jours et l'importance des différents compartiments granulométriques de la matière organique du sol	73
Figure :13 Flux journalier de C-CO ₂ sur les sols fumigés et non fumigés en 21 jours d'incubation	75-76
Figure 14 : Evolution du flux de C-CO ₂ par parcelle (en mgC-CO ₂ .100g ⁻¹) : ajustement d'une fonction puissance ($y = ax^b$)	79
Figure 15: Evolution de la quantité totale de C-CO ₂ dégagé en 21jours d'incubation en fonction de l'âge de la parcelle : ajustement d'une fonction puissance	80
Figure 16: Evolution de la quantité totale de C-CO ₂ dégagé entre 0 et 7jours d'incubation en fonction de l'âge de la parcelle : ajustement d'une fonction puissance	81
Figure 17: Relation entre la quantité de carbone dégagé en 21jours d'incubation et les compartiments granulométriques de la matière organique	83

RESUME

La zone du Plateau Central représente 34% de la superficie du territoire du Burkina Faso. Elle correspond à la zone la plus dégradée du pays du fait de la forte pression humaine mais de la mauvaise gestion des ressources naturelles. Dans un site représentatif, des travaux ont été conduits dans le but d'analyser l'évolution de la fertilité des sols et les effets de la fumure organique dans les conditions réelles du paysan. Les résultats montrent qu'en absence de fumure organique, la fertilité décroît rapidement, se traduisant notamment par une chute des rendements des cultures, de la matière organique de l'horizon de surface et de l'activité microbologique des sols. Mais c'est surtout la fraction grossière de la matière organique des sols et l'activité microbienne qui sont les paramètres les plus sensibles à la mise en culture. La fumure organique paysanne améliore les rendements du sorgho (en paille notamment), le stock du sol en matière organique, l'azote total, le pH et les bases échangeables malgré la mauvaise qualité des produits organiques appliqués. Ainsi la fumure organique paysanne est sans effet sur la capacité d'échange cationique, le phosphore total comme le phosphore assimilable. C'est le compartiment constitué par la fraction granulométrique de taille comprise entre 50 et 200 μ m (F50-200) qui est surtout affecté par la fumure organique. Pour améliorer de manière durable la production vivrière dans le Plateau Central, il paraît capital d'adopter des stratégies permettant d'accroître la disponibilité, la qualité de la matière organique et la carence chimique des sols.

INTRODUCTION GENERALE

La mise en culture des sols tropicaux par les méthodes culturales actuelles entraîne une perte de leur fertilité au bout de 3 à 5 ans : FAUCK *et al.*(1969), DIATTA (1975), COINTEPAS et MAKILO (1982) pour la zone tropicale humide ; BOUYER (1959), SIBAND (1972), FELLER (1977), PICHOT *et al.*(1981), SEDOGO (1981, 1993), PIERI (1989), HIEN (1990).

Les principaux processus impliqués dans cette dégradation rapide sont 1) l'épuisement des réserves organiques et minérales des sols (perte annuelle moyenne d'environ 2 % des réserves organiques; perte d'éléments nutritifs N-P₂O₅-K₂O-CaO-MgO de 60 à 100 kg par hectare et par an selon PIERI, 1989) ; 2) l'acidification des sols liée aux pertes en bases échangeables, entraînant l'apparition des ions toxiques tels que l'aluminium échangeable ; 3) l'effondrement de la structure du sol ; 4) la baisse de l'activité biologique et microbiologique.

Dans les systèmes agricoles traditionnels, les longues périodes de jachère (15 à 30 ans ou plus) permettent de régénérer la fertilité des terres épuisées par les cultures successives. Dans certaines situations, la densité de la population autorise toujours cette pratique. Dans d'autres par contre, comme le Plateau Central au Burkina Faso, la pression démographique a entraîné une réduction considérable de la surface agricole utile par habitant et la pratique de la culture continue est devenue la règle. Il en est résulté très souvent une dégradation des ressources naturelles nomment celle de la fertilité des sols cultivés.

Par ailleurs des travaux de recherche menés à partir des dispositifs de longue durée implantés dans certains pays africains francophones situés au sud du Sahara (Burkina Faso, Cameroun, Côte d'Ivoire, Mali,

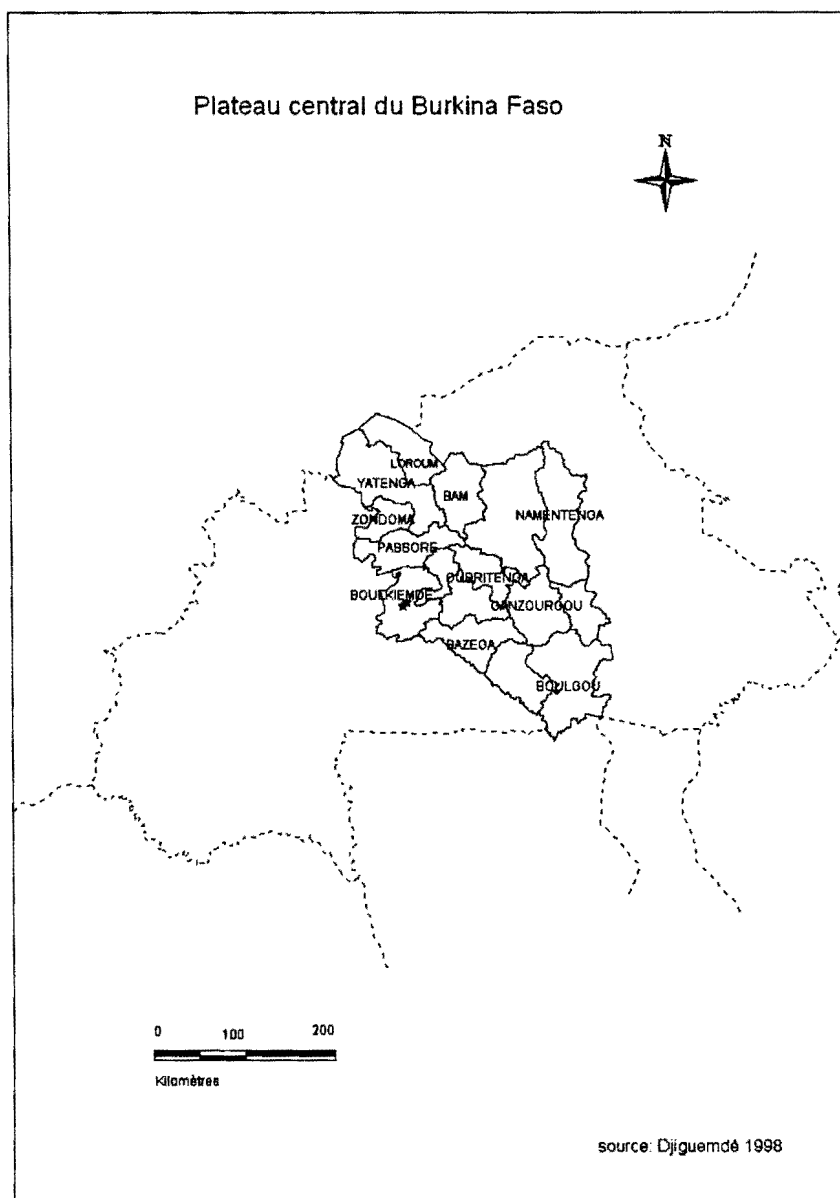
Sénégal, Togo principalement) par le C.I.R.A.D. et ses partenaires ont particulièrement mis en évidence le rôle de premier plan joué par la matière organique du sol dans le cadre d'une agriculture plus productive et durable (PIERI, 1989). Toutefois, ces résultats acquis en milieu contrôlé (stations de recherche) nécessitent leur confrontation dans les conditions réelles de production des agriculteurs.

C'est pourquoi notre travail a pour objectif d'analyser l'évolution de la fertilité des sols et de préciser le rôle de la fumure organique dans les systèmes de culture paysans dans deux terroirs représentatifs de la zone centre du Burkina Faso.

CHAPITRE I : PRESENTATION DU CADRE DE L'ETUDE

1.1. Les caractéristiques générales du Plateau Central

Le Plateau Central est situé entre les parallèles 11° et 14° Nord et les méridiens 0° et 3° Ouest (carte 1). Avec une superficie d'environ 94 000 km², il représente 34 % de la superficie du territoire national et supporte la moitié de la population totale. Dans un essai de cartographie des états de dégradation du Burkina Faso et en retenant comme critères le facteur climatique (pluviométrie annuelle), la densité de population, le taux d'occupation du sol et la densité des bovins et petits ruminants, GROUZIS (1987) montre que le Plateau Central est une zone gravement touchée.



Carte 1 : Localisation du Plateau Central

1.1.1. Climat et végétation

A l'instar du territoire du Burkina Faso, le climat du Plateau Central est conditionné par l'action antagoniste de deux flux d'air : le premier, l'harmattan, est un vent sec issu de l'anticyclone saharien ; le second, chargé d'humidité, est la mousson provenant de l'anticyclone austral situé dans l'Atlantique sud (Sainte Hélène). La zone de contact entre ces deux masses d'air est représentée par le Front Intertropical (FIT) qui, au cours de l'année, se déplace entre les environs du 5ème parallèle nord en janvier et le 22ème parallèle nord en août. Le climat se caractérise par l'existence de deux saisons bien distinctes : une saison pluvieuse qui dure 4 à 5 mois selon la latitude et une saison sèche de 7 à 8 mois. L'analyse de la pluviométrie moyenne de la période 1950-1987 situe le Plateau Central entre les isohyètes 600 et 1000 mm (SOME, 1989).

C'est une zone de savanes à faciès divers (savanes boisées, arborées et arbustives) avec ses paysages champêtres dominés par les essences protégées telles que *Butyrospermum paradoxum*, *Parkia biglobosa*, *Faidherbia albida*, *Lannea microcarpa* et *Tamarindus indica* (BONI *et al.*, 1989).

1.1.2. Géomorphologie et pédologie

L'aspect actuel des paysages du Burkina Faso résulte de l'action des conditions climatiques sur les différentes roches plus particulièrement au cours du quaternaire. D'après PERON et ZALACAIN (1975) environ 75 % du territoire burkinabè repose sur un vieux socle cristallin précambrien qui lui confère un relief uniformément plat et monotone. L'altitude moyenne ne dépasse pas 400 mètres.

Les travaux de pédologie au Burkina Faso ont été réalisés pour l'essentiel par les chercheurs de l'ORSTOM et du BUNASOLS. Depuis 1969 le territoire national est couvert à l'échelle 1/500 000 (BOULET, 1976 ; KALOGA, 1968, 1970 ; etc.). Le Plateau Central est dominé par deux groupes de sol (carte 2) : les sols peu évolués d'érosion et les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés et lessivés. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés qui constituent 85 % des sols

du Burkina Faso sont surtout représentés par les sols ferrugineux tropicaux à concrétions. Ils sont en général pauvres en matière organique, azote, phosphore et potassium et comportent de nombreuses autres contraintes telles que le taux de gravillonnement parfois élevé, une structure peu favorable à la pénétration racinaire, un encroûtement en surface, une faible capacité d'échange cationique et des valeurs de pH souvent inadéquates pour les cultures (PALLO et THIOMBIANO, 1989).

1.1.3. Population et systèmes de production

Le Plateau Central est la zone la plus peuplée du Burkina Faso avec une population de 4 270 000 habitants sur un total de 9 millions que compte le pays. La densité moyenne est de 76 habitants au Km², la moyenne nationale étant de 29 (INSD, 1986). L'ethnie majoritaire est celle des Mossi. La dégradation des conditions de vie, liée à l'amenuisement des ressources naturelles, a fait du Plateau Central un important foyer d'émigration.

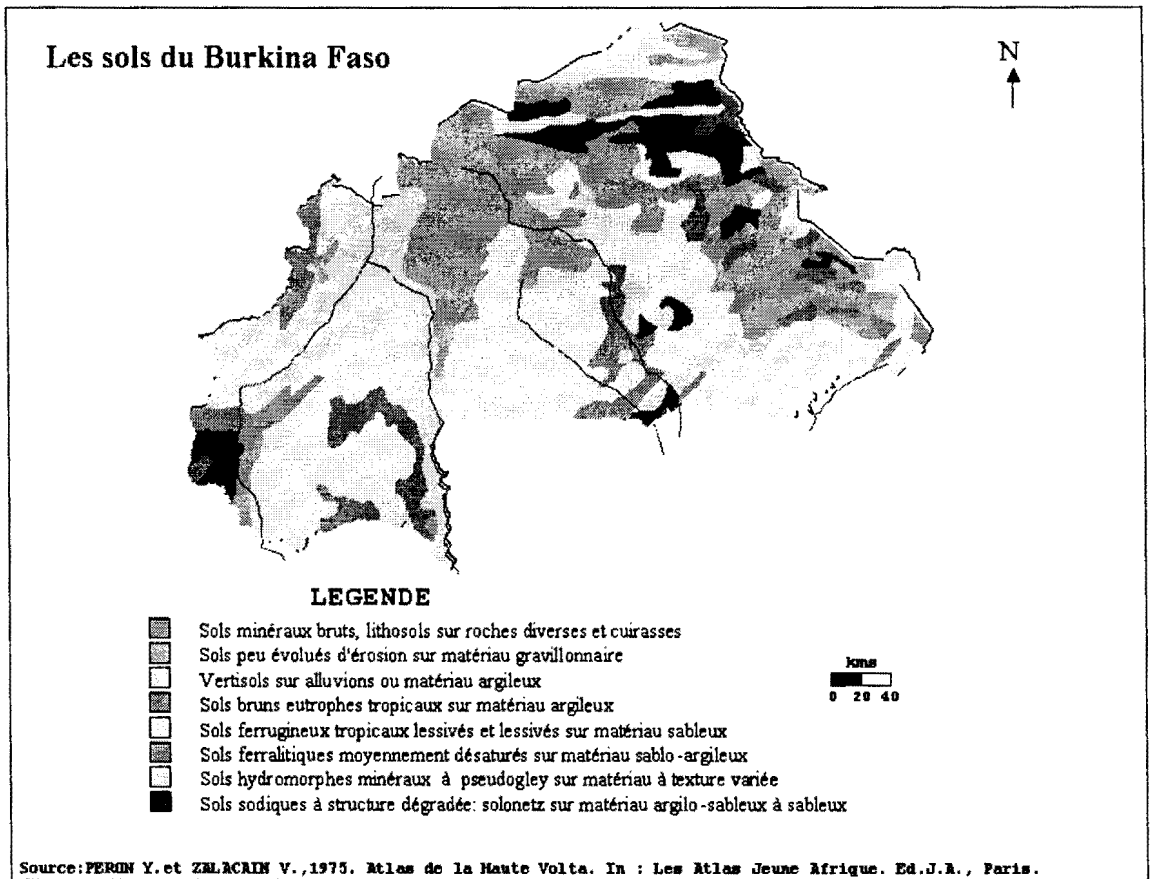
Les systèmes de production sont tournés presque exclusivement vers la production céréalière (sorgho et mil) en vue de l'alimentation familiale. Elle occupe près de 90 pour-cent des terres cultivées. L'élevage, principalement celui des petits ruminants, est une activité importante mais est depuis quelques années en régression du fait de la raréfaction des ressources fourragères. La taille des exploitations est très variable (2 à 6 hectares). Elles sont généralement fragmentées en plusieurs parcelles. En général on distingue 4 types de champs :

- **Les "champs de case"**. Ce sont des champs permanents situés à proximité des concessions et bénéficiant d'apports fréquents et plus ou moins importants de fumure organique. On y cultive le maïs, le tabac, les plantes à sauce et le sorgho rouge. Dans ces zones à forte densité de population, où par conséquent les dimensions des exploitations sont réduites, il arrive que le champ de case constitue toute l'exploitation.
- **Les "champs de village" ou "champs intermédiaires"**. Ce sont des champs en général permanents, peu éloignés des concessions. Moins fertiles que les premiers, on y cultive du sorgho blanc ou du mil associé

au niébé, de l'arachide, du voandzou. Ces champs se caractérisent par l'absence de toute forme d'apport au sol de matière organique en dehors évidemment des restitutions obligatoires que sont les racines des cultures.

- **Les "champs de brousse"**. Ils sont distants des concessions et portent principalement le sorgho blanc. Dans certaines zones non fortement saturées, les paysans y pratiquent la jachère.
- **Les "champs de bas-fond"**. Ces dernières années, les bas-fonds ont fait l'objet d'aménagement dans plusieurs zones du Burkina Faso mais traditionnellement les paysans y cultivent du riz et du sorgho.

La main d'œuvre utilisée dans les exploitations est essentiellement familiale. Les outils de travail, généralement manuels, sont composés d'une pioche pour le semis, d'une "daba" (houe traditionnelle) pour les sarclages et d'un couteau pour la récolte. La culture attelée (asine et bovine) est pratiquée mais son importance est variable. La principale source de restitutions organo-minérales au sol est un mélange de fumier et d'ordures ménagères. La consommation d'engrais est très réduite.



Carte 2 : Les Sols du Burkina Faso

1.2. Le contexte particulier des terroirs étudiés

La zone étudiée est située à 80 km à l'ouest de Ouagadougou et à 23 km à l'est de Koudougou. Les terroirs (espace occupé et géré par une communauté villageoise) de Vili et Nandiala sont situés à proximité de la station agronomique de Saria. Cette dernière est implantée depuis 1923 et les nombreux travaux qui y sont menés ont permis de proposer plusieurs technologies aux paysans du Plateau Central. Les données climatiques et pédologiques qui seront fournies ici proviennent des études menées dans cette station. Les travaux de BELIERES *et al.* (1989 a, b, c), de BERTRAND (1989), de LAVILLE-TIMSIT et LECOMTE (1989) précisent les informations relatives au milieu physique et humain de la zone d'étude.

1.2.1. le milieu physique

a. La végétation

La végétation appartient au secteur phytogéographique soudanien septentrional (GUINKO, 1984). La formation naturelle, une savane arborée, est très dégradée du fait de la sécheresse de ces dernières années mais surtout des actions de l'homme (feux de brousse, charge animale, exploitation agricole, approvisionnement en combustible etc.).

b. Le climat

Le climat est de type nord-soudanien avec une saison pluvieuse de juin à octobre suivie d'une longue saison sèche de novembre à mai. La pluviosité se caractérise par une forte variabilité d'une année sur l'autre et conditionne la variabilité interannuelle des rendements des cultures. La pluviométrie moyenne annuelle sur la période 1929-1991 est de 800 mm. Durant l'unique saison des pluies, le volume des précipitations augmente régulièrement pour atteindre son maximum en août puis diminue très rapidement. Compte tenu de la nature erratique des précipitations de la zone, les moyennes annuelles (ou mensuelles) présentent peu d'intérêt sur le plan agronomique et il est plus utile de connaître la fréquence d'enregistrement d'une pluviosité annuelle (ou mensuelle) donnée. Les tableaux 1 et 2 donnent à titre d'exemple les variabilités fréquentielles

respectivement des pluviométries annuelle et mensuelle obtenues par SOME (1989) pour la station de Saria au cours de la période 1970-1987.

Tableau 1. Variabilité fréquentielle de la pluviométrie annuelle. Période 1970-1987. Station de Saria

Probabilité pluie > x	seuil en mm
0,8	687
0,5	722
0,2	787
moyenne de la période	741

Source : (SOME, 1989).

Tableau 2. Variabilité fréquentielle de la pluviométrie mensuelle (en mm) au cours de la période 1970-1987 Station de Saria

Fréquence = 5/10							
avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre
19 mm	74 mm	107 mm	153 mm	186 mm	136 mm	23 mm	0 mm

Source : (SOME, 1989).

D'une façon générale les températures diurnes sous abris sont toujours plus élevées. On distingue deux périodes de fortes températures respectivement de mars à mai, puis en octobre et novembre ; deux périodes relativement plus fraîches respectivement de décembre à février et de juin à septembre. La température annuelle moyenne est de 28°C. Les températures mensuelles s'élèvent de 30°C, durant la saison humide, à 35°C dès le mois d'octobre (ROOSE, 1979).

La moyenne annuelle de l'insolation est de 9 heures par jour. Le mois d'août est moins ensoleillé.

Le rayonnement global est en moyenne de 2000 J.cm⁻² par jour. L'énergie ne constitue donc pas un facteur limitant à la production végétale et cela pendant toute l'année.

L'humidité relative est généralement très faible (10 à 20 %) en milieu de journée. Elle peut dépasser 90 % en saison pluvieuse au levé du jour.

Les mois les plus fréquemment affectés par un vent instantané supérieur ou égal à 5 m/s sont les mois de mai, juin, juillet, pendant la phase d'installation de la mousson puis septembre à la phase de son retrait.

L'évapo-transpiration potentielle (ETP) subit de fortes variations saisonnières. Elle est maximale durant la période chaude de la saison sèche, mais décroît rapidement à l'arrivée de la saison des pluies. L'ETP (TURC) à la station de Saria est de l'ordre de 2000 mm /an (ROOSE, 1979). Elle atteint 3 à 4 mm/jour en août et peut dépasser 7 mm/jour en saison sèche. Le pouvoir évaporant de l'air, facteur important dans le bilan hydrique des cultures, est donc très élevé même au milieu de la saison des pluies.

c. La géologie et la géomorphologie

D'après les travaux de LAVILLE-TIMSIT et LECOMTE (1989), le substratum géologique, essentiellement granitique, est oblitéré par le manteau cuirassé largement représenté. On distingue, selon ces auteurs, deux systèmes cuirassés correspondant l'un aux buttes et plateaux limités par une corniche bien marquée et l'autre, aux zones de plaine avec un dénivelé de 30 à 40 m entre les deux. Ces deux niveaux de cuirassement seraient directement dépendants des mouvements tectoniques (fracturation, basculements, flexures...) par réajustements successifs jusqu'aujourd'hui peut-être). Sur les buttes et plateaux, la cuirasse est épaisse (6 à 10 m), massive, de type nodulaire, tubulaire parfois alvéolaire ou pisolithique au sommet. Elle se dégrade en "lits" et blocs et forme parfois d'importants éboulis de pente. En plaine, la cuirasse est moins épaisse (2 à 4 m rarement 6 m) et généralement plus nodulaire et alvéolaire que la précédente. Trois grands types de roches ont été reconnus : un ensemble de granites calco-alcalins et de granodiorites plus ou moins migmatitiques ; un massif dioritique à tonalitique ; des septas de roche verte mal individualisés au sein de l'ensemble granitique.

d. La morpho-pédologie

La carte 3 (BERTRAND, 1989) couvre les terroirs étudiés ainsi que la station de recherche agronomique de Saria. On peut distinguer quatre interfluves. Chaque interfluve comprend principalement cinq unités morphopédologiques : 1) le sommet d'interfluve, 2) le haut de versant, 3) le bas de versant, 4) le remblai alluvial et 5) les bas-fonds.

- Les **sommets d'interfluve** sont composés de témoins d'anciennes cuirasses ferriques souvent démantelées et dont les résidus reposent fréquemment sur des horizons carapacés ;
- Le **haut de versant** est caractérisé par des sols gravillonnaires fortement rajeunis dérivés d'altération monofersiallitique. Il est souvent cuirassé ou carapacé. Une rupture de pente nette sépare le haut de versant et le bas de versant ;
- Le **bas de versant** est également développé dans les matériaux résultant d'une altération monofersiallitique. Les sols de bas de versant sont souvent affectés par des processus de carapacement en lamelles. Ils sont souvent appauvris en surface par lessivage et par évacuation des particules les plus fines ;
- Le **remblai alluvial** est formé de matériaux limono-sableux ou limono-argilo-sableux gris ou jaunâtres. La nappe phréatique se trouve fréquemment à 2 ou 3 m de profondeur ;
- Les **bas-fonds** présentent des sols de texture très argileuse.

Les champs échantillonnés sont situés sur les unités suivantes :

□ **Toposéquence de Nandiala**

○ ***Le haut de versant***

Les sols reposent sur un biseau cuirassé très distendu, ils sont sableux et gravillonnaires. La profondeur du sol est limitée par la présence d'une cuirasse à 40 cm environ.

○ ***Le bas de versant***

Il présente des sols non gravillonnaires sableux en surface qui deviennent limono-argilo-sableux puis argilo-sableux en profondeur. On peut observer en profondeur de nombreuses taches et nodules de fer dans une matrice beige très claire. Vers 1 m de profondeur une cuirasse limite le profil.

○ ***Le remblai alluvial***

Il est faiblement représenté dans la zone d'étude. Il succède au bas de versant. Les sols sont limono-sableux à limono-argilo-sableux gris ou jaunâtres tachetés avec une nappe vers deux mètres de profondeur.

□ **Toposéquence de vili**

Sur cette toposéquence, seuls le haut de versant et le bas de versant ont été échantillonnés.

○ **Le haut de versant**

Il est largement représenté. Les sols sont sableux en surface et deviennent limono-argilo-sableux jaune-grisâtres à environ 30 cm et toujours gravillonnaires. Ce dernier horizon repose sur des horizons massifs, assez compacts, tachetés dans lesquels la structure de la roche-mère est reconnaissable : c'est une altérite à très gros quartz.

○ **Le bas de versant**

En surface le sol a un aspect blanchâtre. Sur une vingtaine de centimètres d'épaisseur (parfois 40 cm), le sol est gris très clair et quartzeux. Cet horizon repose sur un autre, argilo-sableux ou limono-argilo-sableux blanchi à grandes taches ferrugineuses en réseau discontinu, plus cohérentes que la matière blanche. Parfois, sur 50 à 60 cm, des nodules de fer et manganèse sont visibles. Cet horizon très meuble, a l'aspect structural de la roche-mère granitique

e. Caractéristiques physiques et chimiques des sols

Les sols dominants de la zone d'étude appartiennent à la classe des sols à sesquioxydes et au groupe des sols ferrugineux tropicaux lessivés ou non, issus d'une roche mère granitique. Dans l'ensemble du profil la structure est faiblement développée à massive. La vitesse d'infiltration de l'eau dans un sol non labouré est de l'ordre de 10 mm/h d'où la tendance au ruissellement (ARRIVETS, 1974). Au plan chimique, ces sols sont pauvres : dans l'horizon de surface (0-20 cm) le taux de carbone est de 0,3 à 0,5 %, celui de l'azote de 0,3 à 0,5 pour mille avec des rapports C/N de l'ordre de 10. Pour une teneur moyenne en argile de 7 %, la capacité d'échange cationique est de l'ordre de 3 mé pour 100 g de sol avec un taux de saturation voisin de 50 %. Le potassium échangeable est voisin de 0,1 mé/100 g et représente alors une fraction moins importante de la somme des bases échangeables qui est proche de 1,5 mé/100 g. D'une manière générale les sols de Saria présentent une carence en phosphore.

1.2.2. Caractéristiques des exploitations agricoles et des systèmes de culture

Les terroirs étudiés sont caractérisés par un important flux migratoire des jeunes, principalement vers la Côte d'Ivoire. Ce qui se traduit par un taux de masculinité de la population présente extrêmement bas pour les tranches d'âge 20-39 ans (BELIERES *et al.*, 1989 a). Cette situation aura des conséquences importantes sur la force de travail disponible pour la production dans les exploitations. Le nombre moyen de personnes par exploitation est de neuf dont quatre actifs ; mais ces actifs sont relativement âgés et sont essentiellement des femmes. Il y a une grande disparité au niveau de la superficie cultivée par exploitation. Cette disparité s'explique par de nombreux facteurs : le nombre d'actifs par exploitation, l'équipement agricole, le type de terrains cultivés mais surtout la disponibilité foncière.

Le sorgho occupe l'essentiel des surfaces cultivées. Le maïs est réservé aux parcelles de case qui reçoivent la plus grosse partie de la fumure organique. Le mil est moins important que le sorgho et est cultivé sur les terres les plus pauvres. Il n'y a pas de culture de rente. Les légumineuses (arachide, voandzou) sont cultivées par les femmes sur de petites parcelles en culture pure. Il n'y a pas de rotation type. Le calendrier cultural comprend les opérations suivantes :

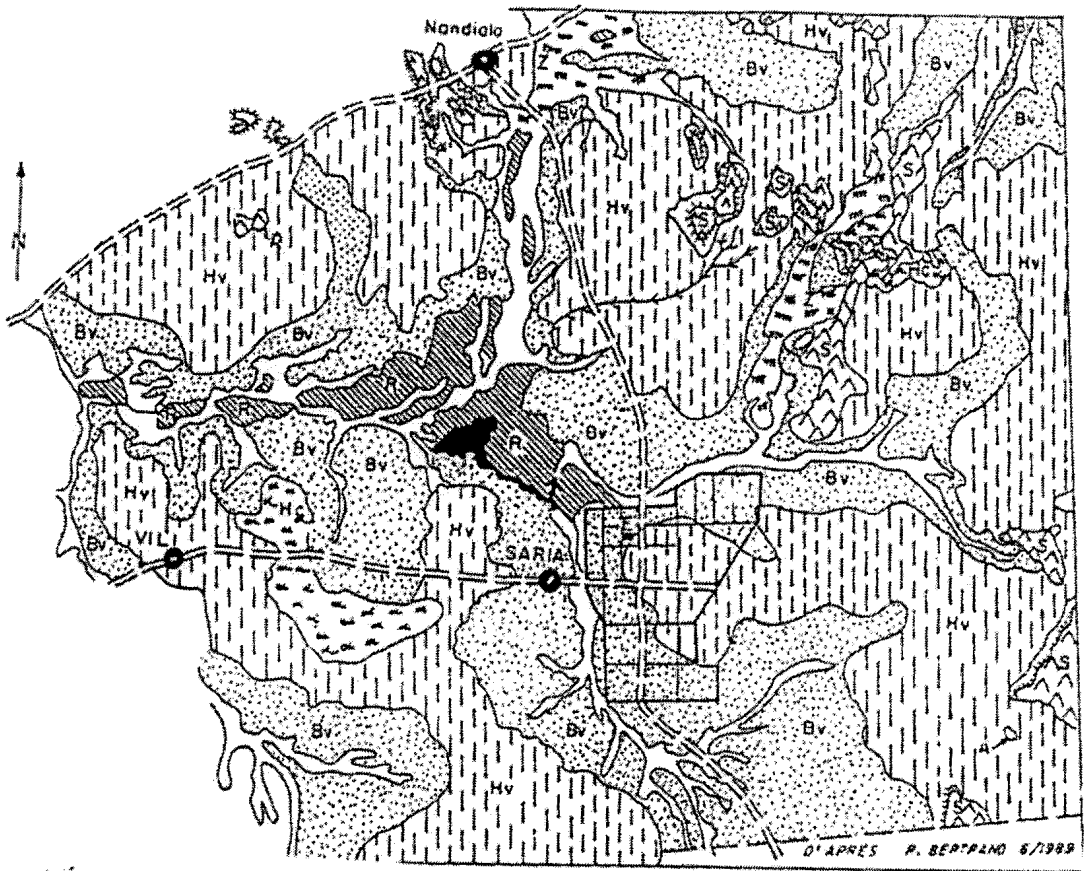
- **Nettoyage de la parcelle** : dans le cas d'un sol précédemment cultivé, avant le semis, les repousses d'arbustes sont coupées et les quelques résidus de récolte présents (tiges de céréales) sont rassemblés et brûlés.
- **Semis** : les semis commencent dès les premières pluies sans préparation du sol. Les semis de céréales (mil, sorgho) sont en poquets distants de 40 à 60 cm avec une dizaine de graines associées le plus souvent au niébé (faible densité). Selon que les sarclages sont mécaniques ou manuels, les semis sont en ligne ou non.
- **Démariage** : il est réalisé durant le premier sarclage. Le nombre moyen de pieds laissés par poquet est de trois (3).
- **Sarclage** : ce sont les sarclages qui exigent le plus grand nombre de journées de travail. Ils sont réalisés soit à la main soit à l'aide d'une houe "manga" en traction asine. En général les paysans se contentent de deux

ou trois sarclages par an, le premier exigeant plus de journées de travail car associant le démarrage.









- **Fertilisation minérale des cultures :** d'une manière générale, l'utilisation des engrais est faible dans la zone d'étude. Entre 1983 et 1988 il y a eu une diminution importante de la pratique de la fertilisation minérale. Ceci est lié à l'augmentation du prix des engrais, et peut-être aussi à la disparition des cultures de rente et aux difficultés d'approvisionnement (BELIERES *et al.*, 1989 b). Les rares exploitants qui utilisent les engrais achètent des quantités tellement faibles que les doses d'apport sont très nettement en dessous de celles recommandées par les services de la vulgarisation agricole (100 kg d'engrais composé NPK/ha/an + 50 kg d'urée/ha/an pour le sorgho).
- **Fertilisation organique :** la fertilisation organique est une pratique ancienne dans la zone d'étude. Les principales sources de matières organiques pour la fertilisation sont les déjections animales et le compost ("*tampouré*") fabriqué à partir d'un mélange d'ordures ménagères, de résidus de récolte et de déjections d'animaux. Le produit apporté est de qualité généralement médiocre (Tableau 3). L'importance de la fumure animale est liée au nombre d'animaux présents sur l'exploitation et au système d'élevage. L'élevage de bovins est pratiqué presque exclusivement par les exploitations en traction bovine qui disposent ainsi de quantités relativement importantes de fumier. Durant la saison sèche, à la suite d'un contrat de parcage entre le cultivateur Mossi et l'éleveur peul, certaines parcelles bénéficient d'importantes déjections d'un troupeau de bœufs qui y est parqué pendant un certain temps. Malheureusement avant le début de la saison des pluies la plus importante partie est ramassée par les femmes pour des utilisations domestiques.
- **Gestion des résidus de récolte :** au moment des semis, il ne reste pratiquement plus de résidus sur les champs. Les fanes de légumineuses (arachide, pois de terre et niébé) sont ramassées et stockées comme fourrage durant la saison sèche. Une partie des tiges de mil et de sorgho est ramassée pour la confection des clôtures, des jardins dans les exploitations qui en possèdent. Une autre partie est utilisée comme fourrage pour les bovins.

Le sarclage mécanique à la houe "manga" et le semis en ligne constituent la seule marque d'une certaine modernisation de cette agriculture. Le labour à la charrue est rare. D'une manière générale les itinéraires techniques pratiqués diffèrent fort peu et leur variabilité dépend des intervalles de temps entre le semis et le premier sarclage et entre les sarclages, ces intervalles de temps étant fonction du type de terrain et de la disponibilité en temps de travail.

Carte 3 : CARTE MORPHOPÉDOLOGIQUE DE RECONNAISSANCE DE SARIA
(BURKINA FASO)



Légende

-  SOMMET D'INTERFLUVE : glacis cuirasses +/- démantelées
-  HAUT DE VERSANT à sols rajeunis et parfois indurés
-  HAUT DE VERSANT CUIRASSE
-  ZONE DE RAVINEMENT INTENSE
-  BAS DE VERSANT
-  REMBLAI ALLUVIAL
-  RAVINS
-  RETENUE D'EAU

1 km

Carte 3 : carte morphopédologique des sols des terroirs de Vili et Nandiala

Tableau 3. Teneurs en éléments totaux de quelques amendements organiques

Type de matière organique	C (%)	N(%)	P(%)	K(%)	C/N
Composts prélevés en milieu paysan (BONZI, 1989)	3,83	0,024	0,05	-	16
	12,79	0,079	0,10	-	16
	3,78	0,017	0,07	-	22
	3,97	0,031	0,06	-	13
	3,75	0,015	0,03	-	25
	5,98	0,025	0,04	-	40
Paille de sorgho (SEDOGO, 1981)	39,4	0,423	0,06	0,77	93
Compost anaérobie (SEDOGO, 1981)	42,2	0,519	0,07	0,27	81
compost aérobie" (SEDOGO, 1981)	32,5	0,762	0,09	0,80	43
Fumier (SEDOGO, 1981)	21,7	1,474	0,24	1,62	15

CHAPITRE II : METHODOLOGIE

2.1. Les enquêtes de terrain et prélèvement de sol

2.1.1. Enquêtes de terrain

Les enquêtes ont été conduites sur des champs situés sur les différentes unités du milieu physique et soumis à différents systèmes de culture. Les parcelles présentant certaines particularités ont été écartées : forte érosion hydrique (passage d'eau) ; engorgement prolongé des horizons de surface par suite d'un mauvais drainage ; parcelles fortement infestées par le *Striga*. Finalement, l'étude détaillée sera conduite à termes sur un échantillon de vingt sept (27) parcelles (dont une savane reconstituée par une longue jachère)

Dans le souci d'identifier avec précision les itinéraires techniques des cultures et les rendements, il a été nécessaire de travailler à l'échelle de la "station" ou "placette". La station (ou placette) est définie comme une "unité de surface élémentaire permettant de contrôler de façon précise soit l'état du milieu, soit l'état de la végétation cultivée (JOUVE, 1990).

□ Collecte des données sur le passé cultural

Au cours d'entretiens avec les paysans, des informations relatives à l'histoire culturelle des parcelles ont été recueillies. Les questions concernent certaines variables essentielles pouvant déterminer l'évolution de la fertilité des sols, telles que : la durée de mise culture (âge) ; les successions culturelles ; la place de la jachère dans l'histoire de la parcelle ; l'utilisation des engrais et de la matière organique ; l'équipement agricole.

□ Suivi des itinéraires techniques

Les données recherchées concernent aussi bien les dates que les modes de réalisation des différentes opérations culturelles suivantes : préparation du sol, semis, sarclage, démariage.

□ **Suivi phytosanitaire**

Parallèlement au suivi des différentes opérations culturales se déroulant sur la parcelle, on note l'éventuelle présence de maladies, parasites et ravageurs ainsi que le niveau de maîtrise des adventices.

□ **Mesures sur le peuplement végétal**

A la récolte toute la placette de 200 m² est récoltée et les mesures suivantes ont été réalisées : rendement- paille ; rendement-panicules ; rendement-grain ; composantes du rendement (nombre de grains/m², poids moyen d'un grain).

2.1.2. Prélèvements de sol

□ **Echantillons destinés aux analyses physiques, chimiques et au fractionnement granulométrique de la matière organique**

Les prélèvements de sol ont été faits sur les différentes placettes en décembre 1990 après les récoltes. Un échantillon moyen de l'horizon de surface (0-20 cm) est obtenu par placette à partir de 10 prises de terre uniformément réparties sur toute la surface de la placette.

□ **Echantillons destinés aux analyses microbiologiques**

Dès les premières pluies de la deuxième année d'étude (campagne 1990-1991), on prélève sur la couche 0-20 cm, des échantillons de terre humide au niveau de quelques stations (6) pour les analyses microbiologiques. Un échantillon moyen par parcelle, provenant d'un mélange de 20 prises de terre réalisées à l'aide d'une sonde métallique, est immédiatement transporté au laboratoire et conservé dans un congélateur.

2.2. Méthodes de laboratoire

Les analyses physico-chimiques et microbiologiques ont été réalisées dans les laboratoires de l'N.E.R.A. dans les stations de Saria et Kamboinsé.

2.2.1. Analyses physiques et chimiques

□ Détermination de la charge du sol en éléments grossiers

La plupart des sols étudiés présentent des graviers en surface dans la couche prélevée (0-20 cm). Leur abondance par rapport à l'ensemble du sol (graviers et terre fine) a été estimée après tamisage à l'aide d'un tamis à maille carrée de 2 mm. On détermine le poids des graviers (gravillons ferrugineux et quartz) par rapport au poids total du sol en pour-cent.

□ Granulométrie

Elle est réalisée par la méthode internationale adaptée à la pipette Robinson après destruction de la matière organique par l'eau oxygénée et dispersion des agrégats par l'hexamétaphosphate de sodium. Trois fractions ont été déterminées : la somme argile et limon (0-50 μm), les sables fins (50-200 μm) et les sables grossiers (200-2000 μm).

□ pH

Le pH du sol est mesuré au pH-mètre électronique sur une suspension de terre fine dont le rapport sol-solution est égal à 1/2.5. Le pH_{eau} est mesuré sur une suspension terre + eau distillée et le pH_{KCl} sur une suspension terre + solution normale de KCl.

□ Carbone total

Le carbone total est dosé par la méthode WALKLEY-BLACK. Elle consiste à oxyder le sol à froid par du bichromate de potassium 1M en excès en milieu sulfurique. L'excès de bichromate non réduit par le carbone est alors titré par une solution de sel de Mohr en présence d'un

indicateur coloré, la phénanthroline. Le taux de matière organique (MO) est obtenu par l'application de la formule : $MO (\%) = C (\%) \times 1.72$, C étant la teneur du sol en carbone total.

□ **Azote total**

L'azote total est obtenu par la méthode KJELDAHL. L'échantillon de sol subit une attaque par l'acide sulfurique concentré bouillant en présence d'un catalyseur et conduit à la transformation de l'azote organique en azote ammoniacal. L'ammoniac est déplacé par distillation en présence de la soude 10N et recueilli dans une solution d'acide borique à 2 % contenant un indicateur coloré constitué de rouge de méthyle et de vert de bromocrésol. L'azote est ensuite dosé directement par l'acide sulfurique N/50.

□ **Capacité d'échange cationique et bases échangeables**

Les bases échangeables sont déplacées du complexe absorbant par une solution de thiourée d'argent (AgH_2NCNH_2).

La capacité d'échange cationique, le sodium et le potassium sont mesurés par photométrie de flamme, le calcium et le magnésium par spectrométrie d'absorption atomique.

□ **Phosphore total**

Le phosphore total est dosé par colorimétrie automatique après attaque des échantillons de sol par l'acide perchlorique (60 %) à chaud.

□ **Phosphore assimilable**

Il a été déterminé par la méthode BRAY nE2 dont la solution d'extraction est constituée de fluorure d'ammonium (NH_4F) 0,3M et d'acide chlorhydrique (HCL) 0,1N. Le dosage est fait par colorimétrie automatique.

2.2.2. Fractionnement granulométrique de la matière organique

La méthode de fractionnement granulométrique dérive de celle décrite par FELLER (1979) La destruction des agrégats organo-minéraux se fait par agitation du sol sous eau (100 g de sol + 350 ml d'eau distillée + 5 billes de verre) dans des pots plastiques. L'agitation qui dure une heure de temps est suivie d'une séparation des différentes fractions par tamisages sous eau à l'aide de deux tamis à mailles carrées de 200 et 50 μm . Après séchage à 60-70 °C à l'étuve pour les fractions de taille supérieure à 50 μm et sur plaque chauffante pour la fraction de taille inférieure à 50 μm , chaque fraction est finement broyée. Sur chaque échantillon, le fractionnement est conduit en trois répétitions. Les résultats des teneurs en carbone des différentes fractions sont exprimés suivant trois manières : en milligrammes de carbone par gramme de la fraction obtenue après séparation (teneur en carbone de la fraction) ; en milligrammes de carbone par gramme du sol non fractionné (contenu en carbone de la fraction), en pour-cent du total de carbone du sol (importance relative de chaque fraction).

2.2.3. Analyses microbiologiques

Les mesures de biomasse microbienne ont été réalisées selon la technique proposée par CHAUSSOD et NICOLARDOT (1982) s'inspirant de la méthode de fumigation au chloroforme préconisée par JENKINSON et POWLSON (1976).

□ Préparation des échantillons

Les études sont effectuées sur des échantillons moyens obtenus à partir de 20 prises de sol uniformément réparties sur la surface d'une placette de 20m x 10m à l'aide d'une sonde métallique sur l'horizon 0-20 cm. Ces échantillons frais ont été conservés dans un congélateur

jusqu'au moment de la manipulation. Ils sont alors bien homogénéisés et tamisés à l'aide d'un tamis à maille carrée de 5 mm.

□ **Fumigation**

A raison de 3 répétitions par échantillon, on place 100 g de terre dans un dessiccateur à l'intérieur duquel se trouve du chloroforme contenu dans un bêcher. Grâce à une pompe à vide reliée au dessiccateur, on réalise le vide dans l'enceinte et les échantillons sont laissés pendant 48 heures en présence de vapeurs de chloroforme. Ces vapeurs sont alors retirées des échantillons par 4 vides successifs entrecoupés de rinçages à l'air.

□ **Incubation**

Les échantillons fumigés et humidifiés aux 2/3 de la capacité maximale de rétention sont placés dans des bocaux à stériliser d'un litre. Dans chaque bocal on introduit un flacon contenant 10 ml de NaOH 0,1N destiné à piéger le CO₂ dégagé et un autre contenant simplement de l'eau distillée dégazée dans le but de maintenir dans l'enceinte une atmosphère humide. On prévoit pour chaque échantillon un témoin non fumigé. Afin de tenir compte, dans les calculs, de la carbonatation initiale de la soude on dispose d'un "blanc" (bocal vide + soude 0,1N). Pour l'ensemble des mesures, on réalise trois répétitions. Les échantillons hermétiquement fermés sont mis à incuber à une température voisine de 30°C pendant 21 jours.

□ **Dosage du CO₂**

Le gaz carbonique dégagé par le sol et piégé dans la soude 0,1N est dosé à un rythme d'une fois toutes les 24 heures au cours de la première semaine d'incubation puis toutes les 48 heures au cours des deux dernières semaines. Le dosage se fait sur l'excès de soude par HCL 0,1N en présence d'un indicateur coloré, la phénolphthaléine, après précipitation du carbonate de sodium par du chlorure de baryum.

□ **Calcul de la biomasse microbienne**

La quantité de carbone microbien (C-Biomasse) est calculé en appliquant la formule suivante : $C\text{-Biomasse} = \text{"Flush"}/Kc$

Le "Flush" de décomposition des corps microbiens tués par le chloroforme est apprécié par le dosage du CO₂ dégagé entre zéro et sept jours et entre sept et quatorze jours :

$$\text{Flush} = F(0-7j) - F(7-14j)$$

F(0-7j) : Carbone dégagé sous forme de CO₂ par l'échantillon fumigé entre 0 et 7 jours d'incubation.

F(7-14j) : Carbone dégagé sous forme de CO₂ par l'échantillon fumigé entre 7 et 14 jours d'incubation.

Le coefficient Kc représente la fraction minéralisable, durant l'incubation, du carbone microbien total. A défaut d'être déterminé pour un sol donné CHAUSSOD et NICOLARDOT (1982) préconisent de prendre Kc = 0,41. Tous les résultats (carbone de la biomasse et Flush) sont exprimés en mg de carbone pour 100 g de sol sec.

L'activité respiratoire des sols, appréciée par la mesure du carbone dégagé sous forme de gaz carbonique, s'exprime par rapport à un poids de sol donné (mg C-CO₂ pour 100 g ou 1 kg de sol sec et par jour) ou par rapport au carbone total du sol.

2.3.Constitution de sous-échantillons

2.3.1.Sous-échantillon « couples de parcelles » :

L'évaluation des effets de la fumure organique paysanne a été réalisée à partir d'un dispositif d'enquête constitué de seize parcelles soigneusement choisies après les enquêtes agronomiques. Les seize parcelles sont organisées en huit couples. Chaque couple comprend une parcelle témoin sans amendement organique (champs de brousse) et une parcelle avec apport de matière organique (champ de case). Dans chaque couple les caractéristiques du sol et l'itinéraire technique sont sensiblement proches en dehors de la gestion de la matière organique (Tableau.4)

Un couple se situe sur le remblai alluvial, quatre couples sur le bas de versant et trois couples sur le has de versant. Dans l'ensemble les

parcelles des couples présentent des taux d'éléments grossiers voisins et une granulométrie. voisine.

Tableau 4 : Caractéristiques physiques des sols de l'échantillon « couples de parcelles ».

Nom	UGM	Codes des champs		Eléments Grossiers (%)		Argile + Limons (%)		Sables Fins (%)		Sables Grossiers (%)	
		Témoin	MO	Témoin	MO	Témoin	MO	Témoin	MO	Témoin	MO
RA	1	IS	IN	2	3	58,60	60,03	21,03	24,71	20,37	15,26
BV	2	RN	RS	6	6	43,16	43,20	30,64	31,17	26,20	25,63
BV	3	YS	YN	21	24	28,62	26,80	31,21	32,97	40,17	40,23
BV	4	BOM	WE	24	21	29,76	28,34	15,58	32,14	54,66	39,52
BV	5	RAE	ER	18	23	34,17	34,63	12,63	16,31	53,20	49,06
HV	6	ETN	AN	56	58	41,62	40,50	16,97	25,14	41,41	34,36
HV	7	ETS	AL	60	54	35,77	36,99	20,35	14,56	43,88	48,45
HV	8	ETW	WW	46	39	32,90	33,10	17,54	31,34	48,56	35,56

NB : RA : remblai alluvial, BV : bas de versant, HV : haut de versant, UGM : unité géomorphologique, Témoin : parcelle sans fumure organique, MO : parcelle avec fumure organique

2.3.2. Sous-échantillon « biomasse microbienne »

L'objectif de cette étude est d'analyser les modifications des paramètres microbiologiques (biomasse microbienne et activité minéralisatrice du carbone) sous l'effet de l'âge de mise en culture et de la fumure organique dans les champs sous gestion paysanne

Les différentes mesures ont porté sur les sols de l'horizon 0-20 cm d'un sous-échantillon comprenant trois groupes de champs (tableau 5):

- Groupe A : deux champs en culture continue de sorgho, âgés de respectivement de trois et cinq ans. Ce sont des champs qui ne reçoivent pas de fumure organique.

- Groupe B : Trois champs en culture continue de sorgho depuis plus de trente ans et bénéficiant en général d'apport occasionnel de matière organique. Mais au cours de la campagne pluvieuse où les prélèvements ont été réalisés il n'y a pas eu d'apport de matière organique.

- Groupe C : Un champ en culture continue comme les parcelles du groupe B mais qui avait été fumé avant le prélèvement.

Tableau 5 : Caractéristiques des champs et des sols du « sous-échantillon biomasse microbienne ». horizon 0-20 cm

Unités	Variables	champ1	champ 2	champ 3	champ 4	champ 5	champ 6
		paw	ge	bag	er	etw	we
années	Âge de mise en culture	3	5	60	72	80	50
%	Éléments Grossiers	26	7	12	23	46	25
%	A+Lf+Lg	39,81	32,52	31,71	34,63	32,90	28,34
%	Sables fins	16,06	22,66	25,39	16,31	17,54	32,14
%	Sables Grossiers	44,13	44,82	42,90	49,06	48,56	39,52
mg.g-1sol	Carbone	6,17	4,65	5,34	4,86	4,50	5,71
mg.g-1sol	Matière Organique	10,61	8,00	9,18	8,36	7,74	9,82
mg.kg-1 sol	Azote	442	308	353	336	336	414
SU	C/N	14	15	15	14	13	14
mg.kg-1 sol	Phosphore total	750	498	750	698	548	750
mg.kg-1 sol	Phosphore assimilable	0,26	0,3	0,9	0,37	0,45	0,84
SU	pHeau	5,85	5,50	6,12	6,61	6,43	6,68
SU	pHkcl	5,24	4,86	5,47	5,80	5,33	5,64
SU	pHeau-pHkcl	0,61	0,64	0,65	0,81	1,10	1,04
még.100g	CEC	2,00	2,86	6,40	2,39	2,99	4,60
még.100g	Ca échangeable	0,74	1,04	2,08	0,97	0,82	1,81
még.100g	Mg échangeable	0,27	0,29	0,32	0,23	0,19	0,34
még.100g	K échangeable	0,08	0,06	0,08	0,10	0,10	0,18
még.100g	SBE	1,09	1,39	2,48	1,30	1,10	2,33
%	V = taux de saturation	55	49	39	54	37	51
à l'Hectare	Nombre de panicules	78 650	105 300	50 250	68 000	26 950	77 650
kg.ha-1	Rendement paille	2 775	2 325	1 150	2 000	1 425	3 750
kg.ha-1	Rendement grain	980	745	265	725	525	875

**CHAPITRE III : EFFETS DE LA MATIERE
ORGANIQUE SUR LES RENDEMENTS ET
LES COMPOSANTES DU RENDEMENT DU
SORGHO**

Introduction

Les successions culturales et les différents itinéraires techniques appliqués par l'agriculteur à la parcelle cultivée induisent des modifications des caractéristiques des sols. D'après SEBILLOTE *et al.*(1989), les modifications profondes des effets cumulatifs des systèmes de culture qui affectent d'une manière permanente le sol constituent "les mémoires des sols". Il ne faut cependant pas perdre de vue les modifications à caractère fugace et réversible relevant des variations saisonnières. L'étude abordée dans cette partie, concerne principalement la première catégorie de modifications. Dans cette partie on tente d'apprécier les effets induits d'apports répétés de matière organique sur le rendement et les composantes du rendement d'une culture de sorgho, les caractéristiques chimiques de l'horizon de surface des sols.

Conditions générales de la campagne culturale

Le volume total de pluie enregistré au cours de cette campagne à la station de Saria est de 619 mm. Il est déficitaire puisque la moyenne annuelle est de 800 mm. Ce déficit est surtout remarquable dans la dernière phase (mi-septembre à octobre) du cycle de la culture du sorgho. D'une manière générale les itinéraires techniques pratiqués sur ces parcelles ont été assez homogènes :

- Pour l'ensemble des parcelles enquêtées, il y a eu un faible écart entre les dates de semis qui se situaient entre le 30 mai et le 5 juin 1990 ;
- Le niveau de maîtrise des adventices a été dans l'ensemble bon et le suivi phytosanitaire n'a pas révélé d'attaques notables de maladies, parasites et ravageurs sur les cultures. Ces conditions permettent de réduire les facteurs d'hétérogénéité des rendements

non liés aux états du sol créés par les systèmes de culture que l'on se propose de comparer.

3.1. Evolution des rendements et composantes du rendement du sorgho en fonction de l'âge des parcelles

Rendement en grain : On note une différence de rendement entre la parcelle la plus récente et les autres (Tableau 6). Le rendement grain obtenu sur la parcelle de 3 ans est de 980 kg.ha-1, tandis que celle de la parcelle de 5 ans est de 745 kg.ha-1. Les rendements des parcelles plus âgées sont plus faibles.

Rendement en paille : Le rendement en paille pour le champ le moins âgé (3ans) est de 2775 kg.ha-1. Après deux ans de culture le rendement chute à 2325 kg.ha-1. Sur les vieilles parcelles, le rendement en paille varie entre 1150 et 2000 kg.ha-1.

Nombre de panicules à l'hectare : Le nombre de panicules est de 78 650 à l'hectare sur la parcelle de 3ans. Il est de 105 300 sur la parcelle de 5ans. Les parcelles anciennes ont un nombre plus faible de panicules : entre 26 950 et 68 000 panicules à l'hectare.;

L'évolution des rendements en grain, en paille et celle du nombre de panicules à l'hectare peuvent être décrites par des fonctions de type puissance $Y = AX^b$

Rendement Grain en kg.ha-1 : $y = 1107,3x^{-0,2017}$ ($R^2 = 0,41$)

Rendement Paille en kg.ha-1 : $y = 3235,4x^{-0,1823}$ ($R^2 = 0,66$)

Nombre de panicules à l'hectare : $y = 124663x^{-0,2377}$ ($R^2 = 0,54$)

Tableau 6 : Evolution des rendements et composantes du rendements du sorgho en fonction de l'âge des parcelles

Groupe	Âge de mise en culture (années)	Nombre de panicules (à l'Hectare)	Rendement paille (kg.ha-1)	Rendement grain (kg.ha-1)
A	3ans	78 650	2 775	980
A	5ans	105 300	2 325	745
B	60ans	50 250	1 150	265
B	72ans	68 000	2 000	725
B	80ans	26 950	1 425	525

3.2. Effet de la fumure organique sur les composantes du rendement et le rendement du sorgho

✓ le rendement en paille

Sur les témoins sans matière organique, le rendement moyen est de 1594 kg.ha⁻¹ (Tableau 7). L'apport de matière organique entraîne un accroissement de +88 % et permet d'obtenir un rendement de 3000 kg.ha⁻¹ (P= 0,02).

✓ le rendement en grain

Le rendement moyen en grain est de 619 kg.ha⁻¹ pour l'ensemble des 26 champs avec un écart-type de 247 kg.ha⁻¹

La fumure organique n'a pas entraîné une augmentation significative du rendement en grain (P = 0, 007). L'augmentation de rendement est de 63% mais elle est non significative au plan statistique (Tableau 7).

✓ Les composantes du rendement

D'une manière générale, pour une céréale on peut écrire :

$$\text{Rendement Grain} = \text{Nombre de grains/m}^2 \times \text{Poids moyen d'un grain}$$

Chaque composante est influencée par les facteurs et conditions du milieu qui ont prévalu pendant sa phase de formation.

Le "*nombre de grains/m²*" est la composante la plus liée au rendement grain. Le coefficient de corrélation est égal à 0,971 et est significatif au seuil $P = 0,05$. L'influence de cette composante sur le niveau du rendement est donc déterminante. Elle est bien liée au rendement-paille ($r = 0.704$) et traduit l'importance de la croissance végétative dans le processus d'élaboration du rendement. La composante "*poids moyen du grain*" est par contre moins déterminante sur le rendement-grain. Le coefficient de corrélation est plus faible et est égal à 0,469.

L'effet des amendements organiques sur la composante poids moyen du grain est positif. Le P1G du témoin est égal à 21,50 mg contre 23,25 mg en présence de matière organique soit un accroissement de 8%. La fumure organique est par contre sans effet sur la composante nombre de grains par m² ($p = 0,12$) et sur le nombre de panicules.ha⁻¹

Tableau 7 : Effet de la fumure organique sur les composantes du rendement et le rendement du sorgho

Paramètre	Sans fumure organique	Avec fumure organique	Effet de la MO (%)	Probabilité
Rendement -Paille (kg.ha-1)	1 594	3 000	+ 88	0,02 (S)
Rendement-Grain (kg.ha-1)	483	786	+ 63	0,07 (NS)
P1G (mg)	21,50	23,25	+ 8	0,04 (S)
Nombre de grains/m ²	2 218	3 354	+ 51	0,12 (NS)
Nombre de panicules/ha	52 656	59 519	+ 13	0,40 (NS)

NS : la différence entre les traitements est non significative au seuil de 5% ; S : la différence entre les traitements est significative au seuil de 5%

Tableau 8 : :Matrice de corrélation entre certaines variables

	C	N	Pt	AL	CEC	SBE	NG	P1G	Paille	GRAIN
C	1	0,912	0,623	0,351	0,317	0,562	0,130	0,512	0,592	0,183
N	0,912	1	0,739	0,347	0,410	0,636	0,191	0,562	0,604	0,255
Pt	0,623	0,739	1	0,505	0,552	0,588	-0,022	0,296	0,198	0,017
AL	0,351	0,347	0,505	1	0,421	0,536	-0,013	0,040	0,093	-0,059
CEC	0,317	0,410	0,552	0,421	1	0,840	-0,184	0,200	0,025	-0,116
SBE	0,562	0,636	0,588	0,536	0,840	1	0,200	0,476	0,419	0,266
NG	0,130	0,191	-0,022	-0,013	-0,184	0,200	1	0,391	0,704	0,971
P1G	0,512	0,562	0,296	0,040	0,200	0,476	0,391	1	0,469	0,540
Paille	0,592	0,604	0,198	0,093	0,025	0,419	0,704	0,469	1	0,709
GR	0,183	0,255	0,017	-0,059	-0,116	0,266	0,971	0,540	0,709	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,050 (test bilatéral)

Conclusion : Au seuil de signification Alpha=0,050 on peut rejeter l'hypothèse nulle d'absence de corrélation significative entre les variables. Autrement dit, la corrélation entre les variables est significative

**CHAPITRE IV : EFFETS DE LA MATIERE
ORGANIQUE SUR LES PARAMETRES
CHIMIQUES DU SOL**

4.1. Evolution des paramètres chimiques du sol en fonction de l'âge de la parcelle

On peut distinguer deux groupes de paramètres :

- le premier groupe est constitué de paramètres qui évoluent à la baisse en fonction de l'âge de mise en culture . Ce sont : matière organique, azote total, phosphore total. (tableau 9).
- Le second groupe est constitué de paramètres dont l'échantillon ne permet pas de voir un certain effet de l'âge de mise en culture. Ce sont les plus nombreux : phosphore assimilable, pHeau, pHkcl, CEC, Ca échangeable, Mg échangeable, K échangeable.

Tableau 9 : Evolution des paramètres chimiques en fonction de l'âge de mise en culture

Unités	Paramètres	3ans	5ans	60ans	72ans	80ans
mg.g-1sol	Matière Organique	10,61	8	9,18	8,36	7,74
mg.kg-1 sol	Azote	442	308	353	336	336
SU	C/N	14	15	15	14	13
mg.kg-1 sol	Phosphore total	750	498	750	698	548
mg.kg-1 sol	Phosphore assimilable	0,26	0,30	0,90	0,37	0,45
SU	pHeau	5,85	5,50	6,12	6,61	6,43
SU	pHkcl	5,24	4,86	5,47	5,80	5,33
SU	pHeau-pHkcl	0,61	0,64	0,65	0,81	1,10
még.100g	CEC	2,00	2,86	6,40	2,39	2,99
még.100g	Ca échangeable	0,74	1,04	2,08	0,97	0,82
még.100g	Mg échangeable	0,27	0,29	0,32	0,23	0,19
még.100g	K échangeable	0,08	0,06	0,08	0,10	0,10
még.100g	SBE	1,09	1,39	2,48	1,30	1,10

4.2. Effet de la fumure organique sur les paramètres chimiques du sol

L'impact des pratiques culturales en milieu paysan affecte plus particulièrement l'horizon de surface (SIBAND, 1974). Pour cette raison toutes les données analytiques concernant cette tranche de sol.

Les données détaillées sont en annexe.

□ Carbone total

Dans l'ensemble les teneurs en carbone total présentent une grande variabilité. Le carbone total varie entre 2,63 et 10,50 mgC/g de sol avec une moyenne égale à 5,68. Le coefficient de variation est égal à 29 et le coefficient de corrélation avec le pourcentage d'argile + limon (0-50 μ) est faible et non significatif à $p = 0,05$ ($r = 0,35$).

"*Sans fumure organique*", le taux de carbone est en moyenne de 4,36 mg/g de sol (Tableau 10). En présence de fumure organique, on constate un enrichissement du sol en carbone total (5,98 mgC/g). La fumure organique a entraîné un accroissement du carbone total de 37% par rapport au témoin.

□ Azote total

Les teneurs oscillent entre 207 et 756 mg.kg⁻¹ avec une moyenne égale à 435 mg.kg⁻¹ de sol et un coefficient de variation identique à celui du carbone (28 %). L'écart-type est égal à 124 mg.kg⁻¹.

La teneur moyenne en azote sur le témoin est égale à 360 mg.kg⁻¹. Sur la parcelle avec fumure organique la teneur observée est de 463 mg.kg⁻¹ soit une augmentation de 28,6 %.

□ Phosphore total

Pour l'ensemble de l'échantillon, les teneurs en phosphore assimilable obtenues par la méthode utilisée (BRAY n°2) sont très faibles (de 0,19 à 0,90 mg/kg de sol) et largement inférieures au seuil de carence fixé à 10 mg/kg de sol pour ce type de sol (ROCHE *et al.*, 1980).

La fumure organique n'a pas modifié statistiquement les teneurs en phosphore total et en phosphore assimilable du sol

□ **Capacité d'échange cationique**

Les valeurs observées oscillent entre 2 et 7,10 mé/100 g de sol. La fumure organique n'a pas amélioré la CEC.

□ **Bases échangeables**

Le calcium échangeable est compris entre 0,65 et 3,76 mé/100 g et représente entre 66 et 84 % de la somme des bases (Ca, Mg et K). Les teneurs en magnésium échangeable s'échelonnent entre 0,08 et 0,68 mé/100 g de sol et représente entre 10 et 25 % de la somme des bases.

Le potassium échangeable constitue la fraction la plus faible de la somme des bases : entre 2,1 et 10,6 % Les teneurs sont comprises entre 0,06 et 0,24 mé/100 g de sol.

Les besoins des plantes en calcium et magnésium sont relativement faibles. Les seuils de carence et de déficience sont difficiles à fixer.

Concernant le magnésium, 0,10 – 0,17 mé/100 g situe à peu près le seuil de carence et 0,25 – 0,35 mé/100 g le seuil de déficience (BOYER, 1982). Dans ces conditions une parcelle sur les 26 présente une carence en magnésium et 5, une déficience en cet élément.

Concernant le potassium échangeable il semble que des teneurs du sol inférieures à 0,10 mé/100 g de sol engendrent, dans la plupart des cas, des déficits importants de récolte et souvent des maladies de carence. 8 parcelles sur 26 présentent des teneurs en K échangeable inférieures à 0.10 mé/100 g. On considère habituellement le niveau critique en potassium échangeable atteint lorsque K/CEC est inférieur à 10 % (PIERI, 1989). Tous les sols étudiés se trouvent dans cette situation.

La fumure organique a entraîné une augmentation significative des bases échangeables En effet, le calcium a connu une augmentation de 47 % le magnésium de 52 % et le potassium de 69 %,

□ pH

Dans l'ensemble, les valeurs du pH_{eau} observées ne sont pas très faibles. Même au niveau des parcelles anciennes en culture continue depuis plus de trente ans et sans fumure organique, Il a même été observé des pH_{eau} atteignant 6,75 (annexe).

Les apports organiques entraînent de faibles accroissements de pH : +11% pour le pH_{eau} et de 20 % pour le pH_{KCl} . Ces augmentations sont significatives sur le plan statistique.

Tableau 10 : Effet de la fumure organique sur les caractéristiques chimiques du sol
(Test de Wilcoxon pour échantillons appariés)

Paramètre	Témoin Sans MO	Parcelle avec MO	Effet MO en %	Probabilité	Signification au seuil P= 0,05
Acidité					
pHeau	6,067	6,727	10,9	0,017	S
pHkcl	4,79	5,74	19,8	0,017	S
Matière organique du sol					
C total (mg C/g sol)	4,36	5,98	37,2	0,011	S
C .F0-50 (mg C/g sol)	3,17	3,47	9,5	0,0356	S
C .F50-200 (mg C/g sol)	0,614	1,004	63,5	0,0172	S
C .F200-2000 (mg C/g sol)	0,776	1,056	36,1	0,888	NS
Azote du sol					
N. total (mg/kg sol)	360	463	28,6	0,0279	S
Phosphore du sol					
P. total (mg/kg sol)	747	871	16,6	0,128	NS
P. assimilable (mg/kg sol)	0,469	0,510	8,7	0,674	NS
Complexe absorbant					
CEC (méq/100g sol)	3,66	4,57	24,9	0,128	NS
Ca (méq/100g sol)	1,312	1,934	47,4	0,028	S
Mg (méq/100g sol)	0,287	0,435	51,6	0,0464	S
K (méq/100g sol)	0,0975	0,165	69,2	0,0179	S
SBE (méq/100g sol)	1,70	2,53	48,8	0,0279	S

Discussions-conclusion

Dans la zone soudano-sahélienne en général, la variabilité interannuelle de la pluviométrie (quantité totale et répartition) est considérable. Il en résulte, pour l'agriculture pluviale traditionnelle des fluctuations importantes de rendements des cultures et une seule année de mesure s'avère insuffisante pour tirer une conclusion d'une grande portée. Néanmoins le dispositif d'enquête mis en place permet de faire certaines observations :

- Les situations culturales caractérisées par une culture continue depuis de longues années sans restitutions organiques au sol assurent les niveaux de rendement les plus bas. Des résultats similaires ont été rapportés par plusieurs auteurs, en particulier grâce au suivi de l'évolution des rendements des cultures sur des expérimentations de longue durée installées dans les stations de recherche (PICHOT *et al.*, 1981 ; PIERI, 1989 ; HIEN, 1990 ; CATTAN et SCHILLING, 1990 ; SEDOGO, 1993). Ces bas niveaux de rendement sont expliqués par un appauvrissement chimique des sols, une dégradation de la structure, une baisse de l'activité biologique des sols, l'apparition de maladies et de parasites, etc. ;
- Par contre, les restitutions organiques fréquentes au sol permettent de relever les rendements. Ces gains de rendement qui peuvent être très importants ne se manifestent qu'à chaque apport. Ce phénomène laisse entrevoir un "effet engrais" très important joué par les amendements organiques apportés par les paysans sur ces sols chimiquement pauvres. L'utilisation des engrais chimiques est en effet rare dans cette agriculture essentiellement vivrière et la matière organique, par le biais de l'activité biologique, constitue la principale réserve minérale pour les cultures. Concernant la fourniture d'azote par

exemple, GANRY (1990) souligne au Sénégal que la nutrition azotée de la céréale, même en présence d'une fertilisation minérale, est tributaire de l'entretien organique du sol et que la paille compostée contribue au renouvellement et à l'augmentation du pool d'azote utilisable par les plantes.

Des effets plus spécifiques de la matière organique du sol sur les cultures ont été signalés. C'est le cas de CISSE (1986) qui montre sur un sol sableux dégradé du Sénégal que les apports de fumier entraînent une amélioration très nette des rendements du mil et de l'arachide. Cette amélioration résulte d'une meilleure alimentation hydrique et minérale due à un bon développement racinaire des plantes et à une augmentation de la capacité des racines à prélever les éléments minéraux ;

Les effets positifs des apports organiques au sol sur les rendements peuvent aussi provenir des modifications favorables des propriétés physiques des sols (GODEFROY et JACQUIN, 1975 ; OUATTARA, 1991).

Il est important de préciser que l'effet de la fumure organique sur les rendements des cultures et le maintien de la fertilité des sols est fonction de plusieurs facteurs dont la nature du produit apporté au sol, sa composition biochimique, sa richesse chimique, son degré d'humification généralement caractérisé par le rapport C/N, la dose, les conditions pédoclimatiques de l'année, etc.

L'incorporation directe de la paille semble être la technique qui présente le plus d'inconvénients : insuffisance dans le maintien de la fertilité du sol (PICHOT *et al.*, 1981 ; PIERI, 1985), difficultés d'enfouissement au sol dans les exploitations agricoles paysannes qui ne disposent pas en général du matériel requis, effet dépressif sur les rendements souvent observé et généralement attribué soit à une immobilisation de l'azote minéral par les microorganismes (GIGOU et

DUBERNARD, 1979 ; GIGOU, 1980 ; SEDOGO, 1981, 1993 ; GANRY et SARR, 1983 cité par GANRY, 1991) soit à l'action de composés phytotoxiques en particulier les acides-phénols (GANRY *et al.*, 1978 ; BURGOS-LEON *et al.*, 1980). Ceci a conduit la recherche à étudier la restitution de résidus transformés (fumier ou compost) dont l'intérêt a été largement démontré dans les stations expérimentales (PIERI, 1989).

4.3. Relation entre les paramètres chimiques et les rendements des cultures

La méthode statistique multidimensionnelle utilisée est l'analyse en composantes principales (ACP) sur les données centrées-réduites. C'est une méthode descriptive qui permet de résumer un grand nombre de variables quantitatives par un nombre limité de nouvelles variables qui sont des combinaisons linéaires des premières et qui sont orthogonales entre elles. Au total dix variables sont analysées. Elles comprennent des variables liées au sol qui sont d'ordre physique et chimique et des variables liées à la plante.

Les "variables-sol" prises en compte sont au nombre de six. Elles sont introduites dans l'ACP comme *variables actives* ou *variables explicatives* : AL = Teneur en argile + limon (0-50 μm) de l'horizon de surface (0-20 cm) en pour-cent ; C = Carbone total du sol (mg/g de sol) ; N = Azote total (mg/kg de sol) ; . Pt = Phosphore total (mg/kg de sol) ; BE = Somme des bases échangeables (mé/100 g de sol) ; CEC = Capacité d'échange cationique (mé/100 g de sol).

Les "variables-plante" sont au nombre de quatre et ont également été prises comme *variables actives*. Ce sont le rendement en grain du sorgho en kg/ha (GR) ; le rendement en paille en kg/ha (PAIL) ; le nombre de grains par m^2 (NGR), le poids moyen du grain en mg (P1G). Les résultats chiffrés détaillés de l'ACP sont en annexe

Les figures 14 et 15 représentent respectivement le cercle des corrélations des variables et la projection des individus dans le plan principal (plan 1-2).

Les quatre premiers axes factoriels expliquent 89 % de la variabilité totale des différentes variables actives. L'axe 1 explique à lui seul 46 % de la variation totale de la matrice de dispersion des individus et l'axe 2 seulement 26 %. Le plan principal 1-2 prend donc en compte 72 % de la variation totale (Annexe).

Les variables qui contribuent le plus à la formation du premier axe factoriel sont : C,N,SBE,Pt,Paille,P1G.(Tableau 11) On peut le considérer comme l'axe de la fertilité. Celles qui contribuent le plus à la formation du deuxième axe factoriel sont CEC,NG,GR. Les variables qui contribuent le plus à la formation du troisième facteur sont C,N,Al,CEC,SBE.

Tableau 11: Contributions relative des variables (%) à la formation des 3 premiers axes factoriels

	Axe F1	Axe F2	Axe F3
C	14,894	0,692	21,643
N	17,357	0,699	14,129
Pt	10,839	8,264	1,380
AL	4,780	8,227	13,035
CEC	6,253	14,176	17,018
SBE	15,069	3,170	14,453
NG	4,212	25,703	8,827
P1G	9,988	3,053	2,005
Paille	11,033	11,002	0,912
GR	5,575	25,014	6,599
TOTAL	100	100	100

Parmi les variables-plante, ce sont les deux variables P1G et Paille qui contribuent le plus à la formation du facteur 1. Les deux autres variables NG et GR contribuent surtout à la formation du facteur 2.

L'examen des cercles des corrélations dans les plan principal 1-2 et 1-3 (figure 14 et 15) permet de dégager les relations entre les différentes variables : Certaines relations sont étroites. C'est le cas entre C (carbone total) et N (azote total), c'est le cas aussi entre CEC et A+L (teneur en argiles + limons), entre NG et GR (nombre de grain et rendement en grain), entre paille et P1G (poids moyen d'un grain de sorgho).

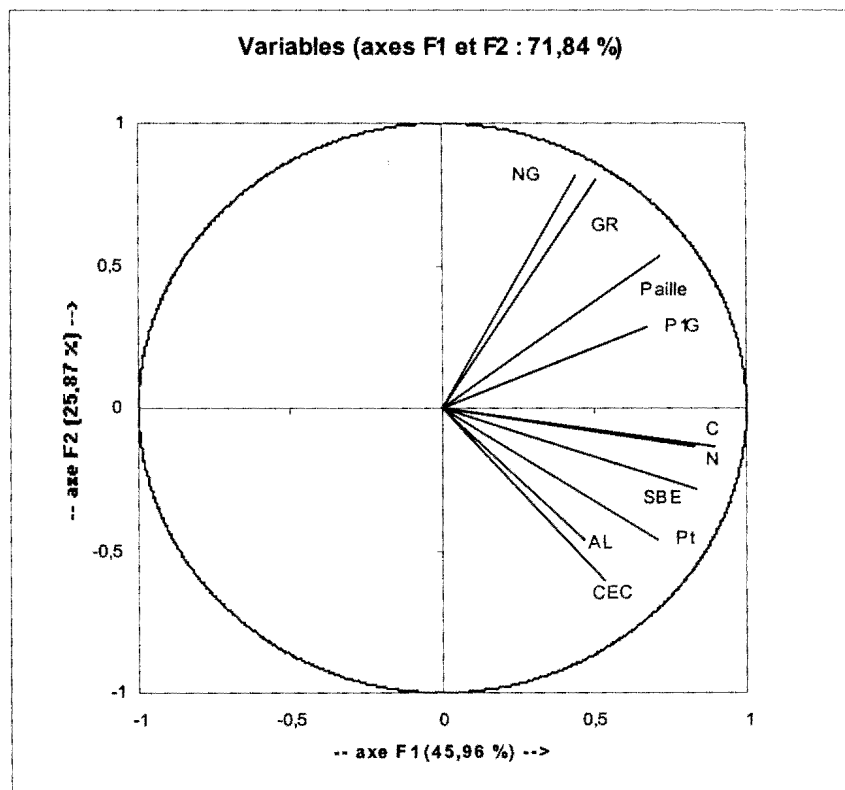


Figure 1 : Représentation graphique des variables selon le plan 1-2

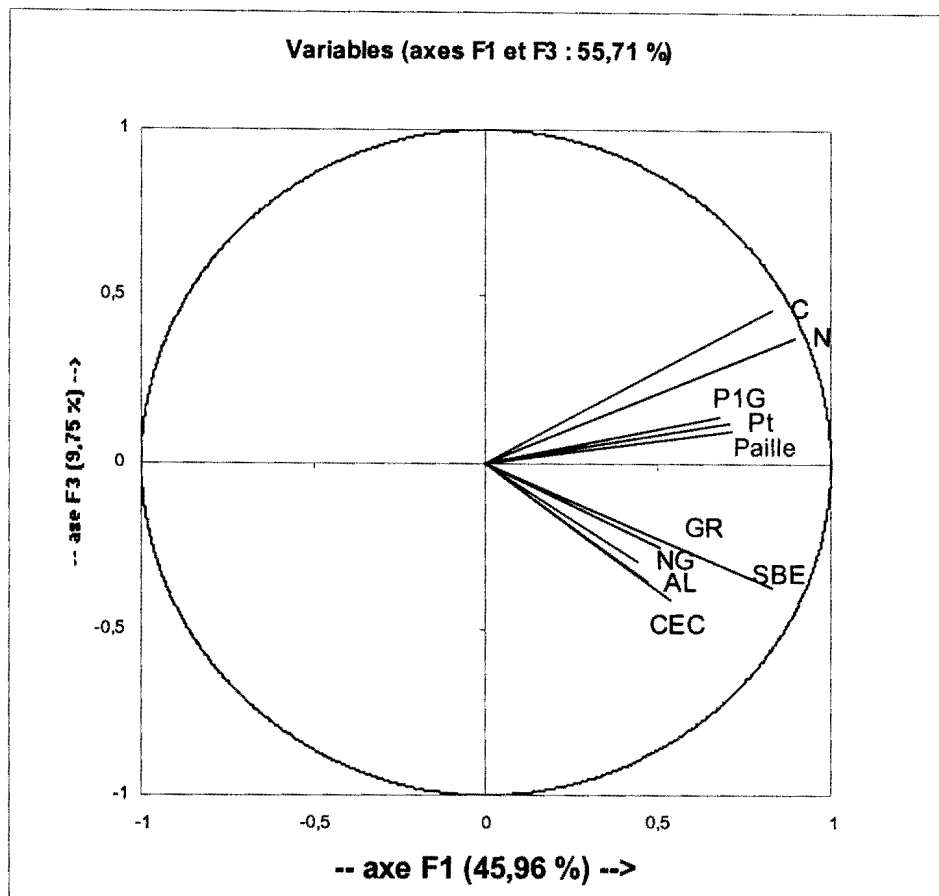


Figure 2 : Représentation graphique des variables selon le plan 1-3

La représentation graphique des individus sur les deux plans (1-2 et 1-3) permet de noter que les individus situés à droite de l'axe F1 ont les rendements en paille et les teneurs en carbone les plus élevés. Il s'agit des champs bénéficiant d'apports de matière organique. Ceux situés à l'arrière ont les rendements en paille et les teneurs en carbone les plus bas. Ce sont les champs en culture continue sans apport de matière organique.

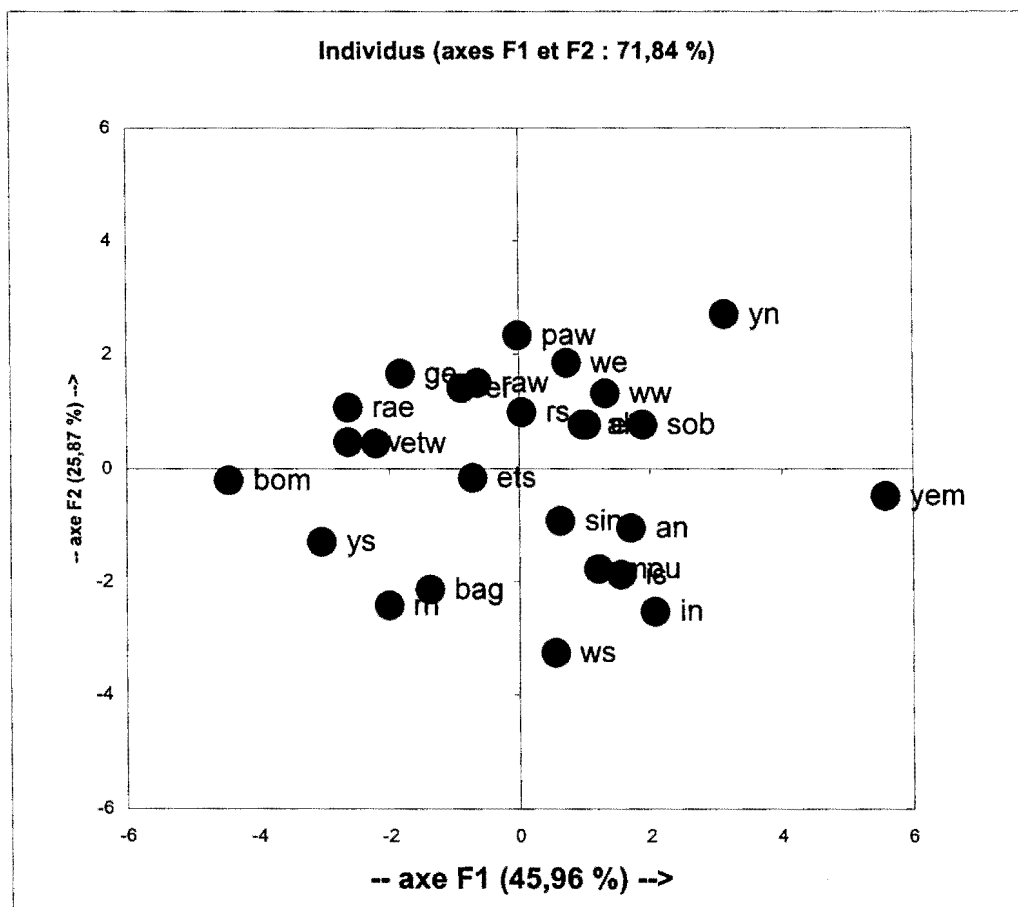


Figure 3 : Représentation graphique des individus selon le plan 1-2

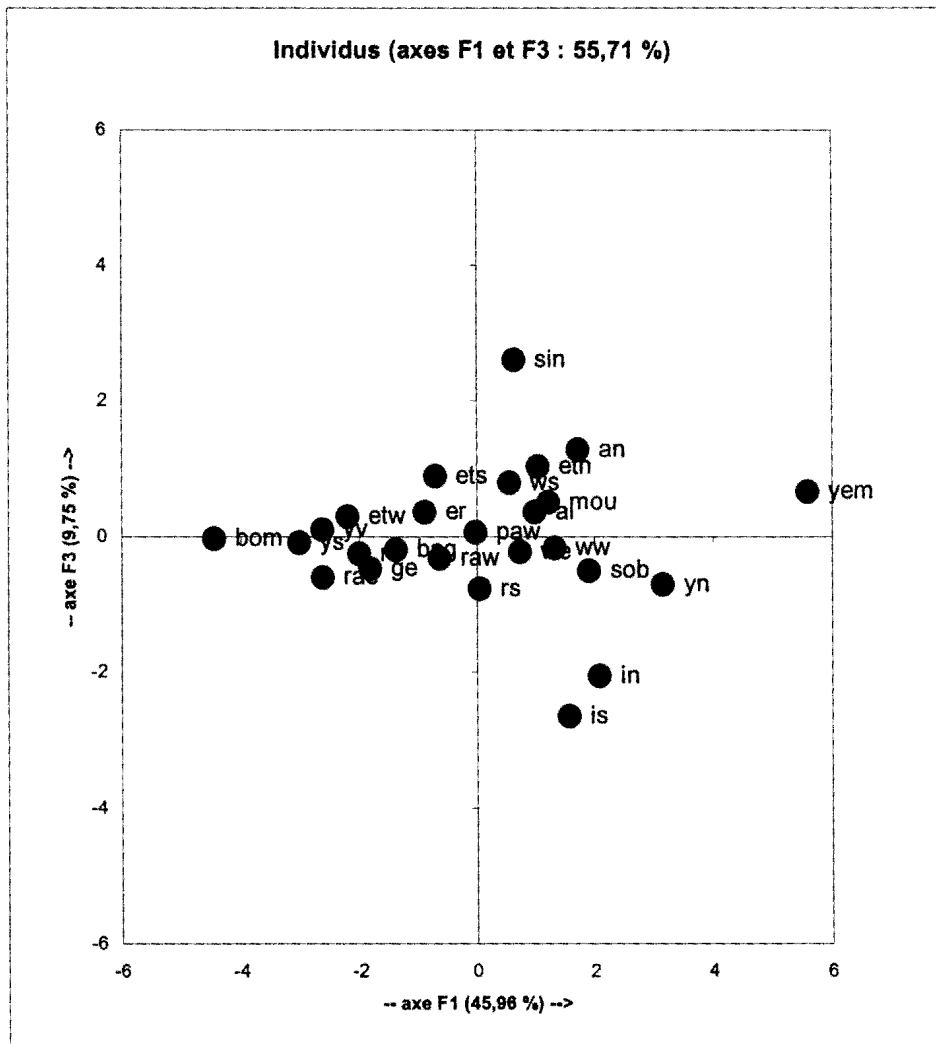


Figure 4: Représentation graphique des individus selon le plan 1-3

Discussions-conclusion :

Les différents résultats mettent en évidence l'importance de la matière organique dans le maintien et/ou l'amélioration de la fertilité des sols et les rendements des cultures. Plusieurs auteurs ont montré l'efficacité des restitutions organiques au sol par le biais des jachères de longue durée dans la restauration de la fertilité des sols épuisés par plusieurs années de cultures successives (CHARREAU et NICOU, 1971 ; PIERI, 1989 ; VALENTIN, 1989 ; HIEN, 1990 ; CESAR et COULIBALY, 1991 ; CATTAN et SCHILLING, 1991 ; FELLER *et al.*, 1991). Ce système dans lequel les cultures alternent avec les jachères de longue durée est le fait de l'agriculture traditionnelle des régions tropicales. Il est dans la plupart des cas bien intégré à l'environnement écologique, économique et sociologique et est le fait de zones à faible densité de population.

Dans le Plateau Central, d'une manière générale, la densité de la population est telle que ce système est en voie de disparition : les jachères sont devenues rares dans les paysages agraires, leur durée de plus en plus courte. On assiste ainsi le plus souvent à une culture continue conduisant à des niveaux de rendement très bas. Il s'avère par conséquent plus réaliste de proposer des solutions techniques en rapport avec le contexte de saturation de l'espace rural. A l'heure actuelle un accent est mis au niveau national sur la diffusion des techniques de compostage et de fabrication de fumier. La faible intégration de l'élevage à l'agriculture dans le Plateau Central rend le fumier peu disponible et en matière de fumure organique les efforts de vulgarisation sont surtout orientés vers l'utilisation des composts à base de résidus de récolte.

La fumure organique pratiquée par les paysans a montré dans cette étude des effets plus ou moins favorables sur certains caractères chimiques des horizons de surface des sols (carbone, azote, Calcium

échangeable, Magnésium échangeable, potassium échangeable, pH) et confirme ainsi les résultats antérieurs acquis essentiellement dans les stations expérimentales concernant d'une manière générale les produits organiques plus ou moins humifiés (SEDOGO, 1981, 1993 ; CISSE, 1986 ; PIERI, 1989 ; GANRY, 1990, 1991 ; HIEN, 1990).

La fumure organique n'a pas entraîné un accroissement significatif des réserves en phosphore du sol et les teneurs sont largement en-dessous du seuil de carence. Cette carence en phosphore constitue un facteur limitant majeur de l'intensification de l'agriculture dans la plupart des pays d'Afrique de l'Ouest et justifie ainsi les nombreux travaux de recherche poursuivis sur les possibilités d'emploi des phosphates naturels locaux (TRUONG *et al.*, 1978, 1982 ; TRUONG, 1984 ; TRUONG et FAYARD, 1987 ; SAMAKE, 1987 ; HIEN *et al.*, 1991 ; LOMPO, 1993).

L'acidification des sols cultivés, avec comme conséquence la toxicité aluminique, est une des grosses difficultés de la mise en valeur des sols de la zone intertropicale. Dès que le pH_{eau} est égal ou mieux, supérieur à 5.5 il n'y a pratiquement plus à redouter de toxicité aluminique, même pour les plantes qui y sont très sensibles, et ceci dans presque tous les types de sol (BOYER, 1982). Il semble cependant que la meilleure base pour décrire les risques de phytotoxicité et proposer des remèdes soit de considérer plutôt le taux de saturation de la capacité d'échange cationique en aluminium échangeable (PIERI, 1974, 1976 a,b). Malgré le nombre élevé d'années de mise en culture de certaines parcelles, les valeurs de pH ne sont pas très basses. Cette observation qui avait déjà été faite par DIOUF (1990) au Sénégal pourrait s'expliquer par la faible utilisation des engrais minéraux, facteur important dans l'accélération du processus d'acidification des sols. De faibles augmentations de pH en rapport avec les restitutions organiques sont observées. Cet effet résulterait des teneurs en calcium et magnésium plus élevées induites par les amendements organiques.

La fumure organique n'a pas permis d'améliorer de façon significative la capacité d'échange cationique des sols

Les relations souvent étroites entre la plupart des caractères chimiques du sol et la teneur en matière organique (carbone total) permettent de retenir cette dernière comme un bon indicateur de fertilité des sols.

**CHAPITRE V : EFFETS DES SYSTEMES DE
CULTURE PAYSANS SUR LES
COMPARTIMENTS GRANULOMETRIQUES DE
LA MATIERE ORGANIQUE**

Introduction

La méthode de fractionnement de la matière organique basée sur la densité des débris végétaux et proposée par HENIN et TURC (1950) puis modifiée par d'autres chercheurs comme MONNIER *et al.* (1962), DUCHAUFOR et JACQUIN (1966), DABIN (1971) apparaissait sur le plan théorique comme un net progrès par rapport aux méthodes d'extraction acido-alcalines directes qui traitent le sol dans son ensemble, résidus végétaux compris. Ces dernières méthodes visent à caractériser la matière organique humifiée du sol et conduisent à l'obtention de trois fractions : acides humiques, acides fulviques et humine.

Néanmoins toutes ces méthodes (extraction ou hydrolyse à l'aide de réactifs acides ou alcalins, séparation par densimétrie) ont peu d'applications réellement intéressantes dans le domaine des recherches sur les agrosystèmes pour plusieurs raisons :

- Les substances extraites par voie acido-alcaline (composés humiques) ont un *turn-over* généralement lent (BALESDENT et GUILLET, 1982 ; ANDERSON et PAUL, 1984) et interviennent probablement peu dans les variations saisonnières ou annuelles du stock organique des sols cultivés.
- L'hétérogénéité de la fraction "humine" constituée de matières organiques d'origines et de natures différentes (végétale ou microbienne, humifiée ou non) est un facteur limitant par rapport aux interprétations de ses variations dans les agrosystèmes.
- Les fonctions de ces compartiments chimiques par rapport aux processus édaphiques majeurs (agrégation, minéralisation, propriété de surface, etc.) ne sont pas clairement établies.

- Dans la méthode de fractionnement des matières organiques par densimétrie des résidus végétaux, les solvants organiques (bromoforme - alcool à $d = 1.1$) peuvent polluer ou altérer les fractions du sol et gêner leur étude ultérieure.
- La fraction "matières organiques libres" peut être sous-estimée en particulier lorsqu'on utilise une densité égale à 1.1.

Aussi des chercheurs de plus en plus nombreux utilisent des méthodes physiques pour séparer les résidus végétaux du complexe organo-minéral (BRUCKERT, 1979 ; FELLER, 1979 ; ANDREUX *et al.*, 1980 ; FRANCOIS, 1988 ; FELLER *et al.*, 1991 ; etc.).

La méthode comporte plusieurs variantes. Celle que nous avons utilisée dérive de FELLER (1979).

5.1. Caractéristiques générales de la matière organique des fractions

Le taux de récupération moyen du sol après fractionnement est de 99.39 % pour l'ensemble de l'échantillon ; celui du carbone est de 95 % avec des valeurs comprises entre 85 et 99 % Le poids de la fraction organo-minérale (F0-50) est proche du poids de la fraction texturale argile + limon (taille comprise entre 0-50 μm). Le coefficient de corrélation est égal à 0,86. La désagrégation peut donc être considérée comme satisfaisante.

Caractéristiques morphologiques

A l'issue du fractionnement, trois fractions sont obtenues :

- F200-2000 (Fraction Végétale Grossière) : elle est composée de débris végétaux grossiers de taille comprise entre 200 à 2000 μm (racines, graines, spores, etc.) associée aux sables grossiers ;

- F50-200 (Fraction Végétale Fine) : elle comprend des débris végétaux de taille comprise entre 50 à 200µm, peu reconnaissables à l'oeil nu, associée aux sables fins ;
- F0-50 (Fraction Organo-Minérale) : cette fraction est essentiellement organo-minérale. La matière organique, non reconnaissable à l'oeil nu, est liée aux argiles et limons.

Caractéristiques chimiques

Seul le carbone a été déterminé. Les résultats des dosages de carbone sont exprimés :

- par rapport au poids de la fraction obtenue (teneur en carbone de la fraction),
- par rapport au sol non fractionné (contenu en carbone),
- par rapport au carbone du sol entier (contribution au carbone total). Les données détaillées figurent dans les annexes. Le domaine de variation et la moyenne pour l'ensemble de l'échantillon (n = 27) peuvent être consultés sur le tableau 12.

□ Teneurs en carbone des fractions (en mg/g de fraction)

Pour l'ensemble des observations, les teneurs moyennes en carbone des fractions sont les suivantes:

F200-2000	: 2.44 mg/g de fraction ;
F50-200	: 3.68 mg/g de fraction ;
F0-50	: 11.08 mg/g de fraction

La fraction organo-minérale est donc la fraction la plus riche en carbone. Les teneurs des autres fractions sont voisines. Les valeurs observées pour les fractions grossières sont très hétérogènes. Ce qui se traduit par des coefficients de variation très élevés en particulier pour la fraction la plus grossière (C.V. = 53 %).

□ **Contenu en carbone des fractions (en mgC/g sol)**

Les contenus en carbone de la fraction organo-minérale sont systématiquement plus élevés que ceux des autres fractions (Annexe 10 et tableau 11). Ils se situent entre 1.80 et 5.87 mg C/g de sol. La moyenne générale est égale à 3.57 avec un coefficient de variation de 26 % Les contenus des fractions végétales sont très voisins dans l'ensemble. Les valeurs observées pour la fraction F200-2000 vont de 0.36 à 2.06 mg C/g de sol avec une moyenne égale à 0.93 ; celles observées pour la fraction F50-200 sont comprises entre 0.25 et 1.69 mg C/g de sol avec une moyenne est égale à 0.91. Les coefficients de variation de ces deux dernières fractions sont très élevés : 50 % pour F200-2000 et 43 % pour F50-200.

□ **Proportions relatives du carbone des fractions granulométriques**

La fraction organo-minérale concentre l'essentiel du carbone total du sol (Annexe). Elle représente entre 54 et 77 % du total. La moyenne pour l'ensemble des échantillons (sauf la jachère) est égale à 67 % Le carbone des fractions végétales représente entre 25 et 45 % du total.

Tableau 12. Caractéristiques principales des fractions granulométriques : domaine de variation et moyenne pour l'ensemble des échantillons (n = 27).

Fraction	expression	minimum	Maximum	C.V. (p.c)	moy. n=27
F0-50	en mg/g fraction (teneurs en carbone)	6.32	17.95	28	11.08
F50-200		1.00	5.99	39	3.68
F200-2000		0.76	5.55	53	2.44
F0-50	en mg/g de sol (contenus en carbone)	1.80	5.87	26	3.57
F50-200		0.25	1.69	43	0.91
F200-2000		0.36	2.06	51	0.93
F0-50	en % du carbone total (participation au carbone total)	54	77	9	67
F50-200		10	23	23	16
F200-2000		7	26	31	17

Discussions-conclusion

Le fractionnement granulométrique des sols a permis de séparer la matière organique en trois compartiments : la fraction végétale grossière constituée de débris végétaux grossiers de taille comprise entre 200 et 2000 μm , la fraction végétale fine composée de débris végétaux de taille comprise entre 50 et 200 μm et enfin la fraction organo-minérale liée aux argiles et limons. En considérant l'ensemble de l'échantillon à l'étude, les valeurs moyennes des contenus en carbone des sols en culture sont :

F200-2000 (FVG)	: 0.93 mg/g de sol (17 % du total)
F50-200 (FVF)	: 0.91 mg/g de sol (16 % du total)
F0-50 (FOM)	: 3.57 mg/g de sol (67 % du total).

La fraction organo-minérale constitue par conséquent la fraction la plus importante au plan quantitatif puisqu'elle représente 67 % du stock total de carbone contre 33 % pour les fractions grossières. Une telle répartition est souvent observée dans les sols sableux (KANAZAWA, 1979 ; FELLER, 1981 ; FELLER *et al.*, 1983, 1987 ; SEDOGO, 1993).

5.2. Effet de l'âge de mise en culture sur l'évolution du carbone des fractions granulométriques

L'évolution de la matière organique est appréciée en comparant un sous-échantillon composé :

- d'une jachère de longue durée (jachère arbustive),
- de trois parcelles en culture continue respectivement depuis trois (3), cinq (5) et trente (60) ans. Ces différentes parcelles ne reçoivent aucun apport d'amendement organique ni de fumure minérale. Les régressions (linéaires) sont réalisées par le logiciel TABLE CURVE. Le modèle exponentiel a été le modèle mathématique retenu pour décrire l'évolution du carbone du sol

non fractionné et des différents compartiments physiques en fonction de l'âge de mise en culture.

Le tableau 13 donne les résultats des analyses du carbone du sol non fractionné et des différents compartiments.

On peut noter que le sol sous jachère présente un stock de carbone plus important (7,42 mg C/g de sol). Il est suivi du champ de 3 ans dont la teneur est de 6,17 mg C/g de sol, soit une réduction de 17%. Le champ de 5 ans accuse une réduction de 37,33 % de son stock par rapport à la jachère. Le champ âgé de 60 ans connaît une réduction de 64,55 % de son stock par rapport à la jachère.

Tableau 13 : Répartition du carbone (mg C/ g de sol sec) dans les fractions granulométriques du sol de champs d'âges différents.

Age de mise en culture (années)	Carbone du sol non fractionné	Carbone de la fraction F[0-50]	Carbone de la fraction F[50-200]	Carbone de la fraction F[200-2000]
0	7,42	3,74	1,63	1,46
3	6,17	3,84	0,98	0,67
5	4,65	3,32	0,48	0,62
60	2,63	1,91	0,25	0,43

La fraction F[0-50] concentre l'essentiel du carbone du sol quel que soit l'âge du champ. Les teneurs en carbone de la fraction F[50-200] sont plus élevées que celles de la fraction F[200-2000] pour la jachère et le champ de 3 ans. Pour les deux derniers champs la tendance est inversée.

Dans le système de culture considéré, l'âge de mise en culture est un facteur important d'évolution du stock de carbone des différents

compartiments granulométriques. On peut en effet noter une tendance générale à la baisse du stock de carbone en fonction de la durée de culture.

Afin de mieux analyser cette cinétique, des fonctions mathématiques ont été recherchées. Le tableau 14 résume les paramètres des fonctions décrivant le mieux l'évolution du carbone des différents compartiments granulométriques. L'ensemble des équations est du type exponentiel. Les coefficients de détermination r^2 sont très élevés et très hautement significatifs.

Tableau 14 : Paramètres des courbes d'évolution du stock de carbone des différents compartiments granulométriques

Y = A + B exp (-x / C)						
Y	A	B	C	r ²	Probabilité	Signification
C-[sol entier]	2,60	4,92	6,83	0,98	< 0,001	THS
C-[F0-50]	1,64	2,18	28,69	0,96	< 0,001	THS
C-[F50-200]	0,23	1,42	3,73	0,97	< 0,001	THS
C-[F200-2000]	0,45	1,00	2,21	0,99	< 0,001	THS

NB : THS = très hautement significatif, Y = teneur du sol en carbone (mg/g de sol) ; x = âge de mise en culture en année

La figure 5 illustre l'évolution du carbone du sol non fractionné. Quant aux figures 6, 7 et 8 elles montrent l'évolution du stock de carbone des trois compartiments granulométriques.

➤ **Evolution du carbone du sol non fractionné : C-[sol entier]**

L'évolution du carbone total du sol non fractionné est décrite par l'équation : **C-[sol entier] = 2,60 + 4,92 exp (-x/6,83)**. Le coefficient de détermination r^2 est très élevé (0.98) et significatif au seuil

$P < 0.001$. La figure 5 montre une chute rapide de la matière organique au cours des 10 premières années de mise en culture. La baisse s'atténue par la suite et l'équilibre est atteint après 20 années de culture environ. Le taux de carbone reste pratiquement constant.

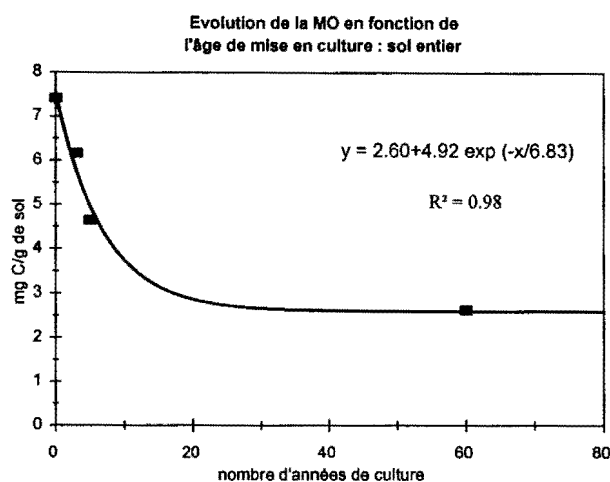


Figure 5 : Evolution du carbone total du sol non fractionné en fonction de la durée de mise en culture.

➤ **Evolution du carbone des fractions granulométriques**

- **Evolution des fractions grossières C-[F50-200] et C-[F200-2000]**

Les courbes d'évolution du carbone des fractions grossières (figures 6 et 7) sont décrites par les équations suivantes :

$$C-[F50-200] = 0,23 + 1,42 \exp(-x/3,73)$$

$$C-[F200-2000] = 0,45 + \exp(-x/2,21)$$

Ces deux fractions présentent des courbes semblables. La chute du stock de carbone est très rapide dès les premières années de mise en

culture. Après seulement trois années de culture les deux compartiments perdent près de la moitié de leur stock initial de matière organique. Le niveau d'équilibre est rapidement atteint : après 10 années de culture environ pour la fraction F[50-200] et après 5 années pour la fraction F[200-2000]. Les stocks de carbone de ces compartiments se maintiennent alors à un niveau très bas.

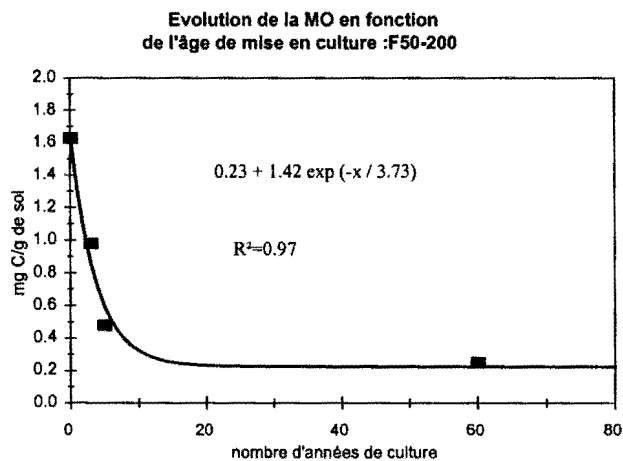


Figure 6 : Evolution du carbone total de la matière organique de la fraction F[50-200] en fonction de la durée de mise en culture.

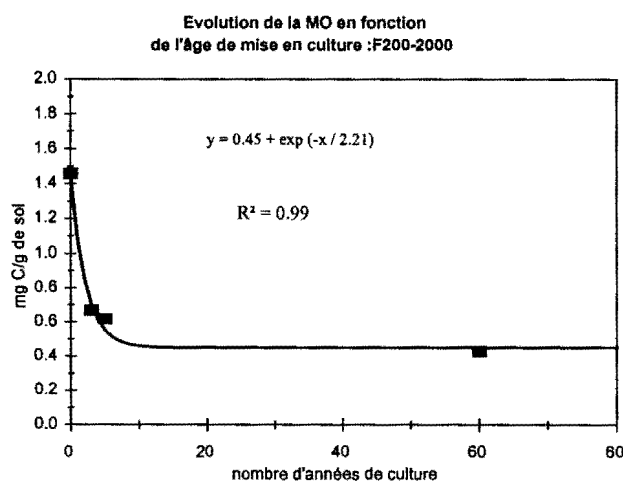


Figure 7 : Evolution du carbone total de la fraction F[200-2000] en fonction de la durée de mise en culture.

- **Evolution de la fraction organo-minérale C-[F0-50]**

L'évolution du carbone total de ce compartiment est décrite par la fonction suivante :

$$C-[F0-50]= 1,64 + 2,18 \exp (-x/28,69)$$

La courbe d'évolution du carbone de ce compartiment est illustrée sur la figure 8. Elle présente une allure bien différente des deux précédentes. La diminution du stock de carbone est beaucoup plus lente. L'équilibre est atteint au bout de plusieurs années de culture : 60 ans environ après la mise en culture. Ce compartiment constitue par conséquent la fraction la plus stable de la matière organique du sol.

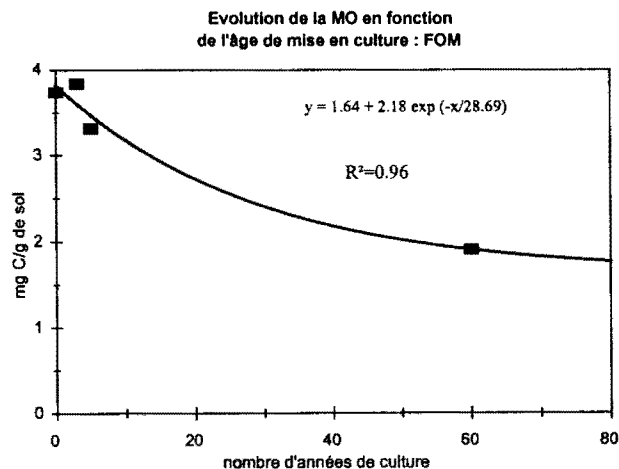


Figure 8 : Evolution du carbone total de la matière organique de la fraction F[0-50] en fonction de la durée de mise en culture.

5.3. Effet de la fumure organique sur le carbone des compartiments granulométriques de la matière organique

La fumure organique entraîne un accroissement du carbone du sol de +37,2 % (Tableau 15). Cet accroissement concerne la fraction organo-minérale (+9,5 %) mais surtout la fraction grossière F50-200 (+63,5%). L'effet de la fumure organique sur la fraction grossière F200-2000 n'est pas statistiquement significatif.

Tableau 15 : Effet de la fumure organique sur les compartiments granulométriques de la matière organique du sol

(Test de Wilcoxon pour échantillons appariés)

Paramètre	Témoin Sans MO	Parcelle avec MO	Effet MO en %	Probabilité	Signification au seuil P= 0,05
C total (mg C/g sol)	4,36	5,98	37,2	0,011	S
C .F0-50 (mg C/g sol)	3,17	3,47	+9,5	0,036	S
C .F50-200 (mg C/g sol)	0,61	1,00	+63,5	0,017	S
C .F200-2000 (mg C/g sol)	0,78	1,06	+36,1	0,888	NS

Discussion-Conclusion

L'effet de l'âge de mise en culture sur le stock de matière organique des sols tropicaux a été antérieurement montré par des auteurs comme SIBAND (1974), SEDOGO (1981), PIERI (1989), FELLER *et al.* (1991). Les résultats acquis dans cette étude sont en accord avec ces derniers.

La matière organique du sol ne constitue pas un ensemble homogène. Le fractionnement physique du sol a permis de la séparer en trois compartiments : la fraction végétale grossière constituée de débris végétaux grossiers de taille comprise entre 200 et 2000 μ m (F[200-2000]), la fraction végétale fine composée de débris végétaux de taille comprise entre 50 et 200 μ m(F[50-200]) et enfin la fraction organo-minérale liée aux argiles et limons (F[0-50]). La fraction organo-minérale constitue la fraction la plus importante au plan quantitatif. L'analyse de l'évolution des stocks de carbone de ces différents compartiments en fonction de l'âge de mise en culture montre que les fractions grossières constituent le compartiment le plus labile comme l'ont montré dans d'autres conditions TIESSEN et STEWART (1983), CERRI *et al.*, 1985 ; DALAL et MAYER, 1986 ; ANGERS et MEHUYS, 1989 ; ELUSTONDO *et al.*, 1990 ; FELLER *et al.*, 1981, 1991 ; SEDOGO, 1993). Ce comportement

s'explique par le fait que le rapport C/N de la matière organique de ces fractions est relativement plus élevé (de l'ordre de 19 selon FELLER *et al.*, 1991) que celui de la fraction organo-minérale (C/N voisin de 10). Elle constitue par conséquent une source de carbone et d'énergie pour les micro-organismes. De plus, l'absence de liaison avec la fraction minérale du sol rend cette matière organique plus facilement biodégradable. En effet, grâce à l'utilisation des techniques isotopiques, il a été montré que les matières organiques associées aux sables (débris végétaux) ont un taux de renouvellement nettement supérieur à celui des matières organiques associées aux argiles et limons (BALESDENT et GUILLET, 1982 ; CERRI *et al.*, 1985 ; MARTIN *et al.*, 1990). Sur le plan agronomique, cette labilité des fractions grossières leur confère un rôle très important dans la nutrition des plantes. C'est ainsi que WEY *et al.* (1987) soulignent que dans les sols sableux du Sénégal ce sont les débris végétaux grossiers qui contribuent, avec les engrais, à la fourniture de l'azote assimilable. Les travaux de GANRY (1977) au Sénégal, d'ABBADIE *et al.* (1992) dans les sols sableux sous savane de Côte d'Ivoire, ceux de FRANÇOIS (1988) démontrent en effet une utilisation préférentielle, par les plantes, de l'azote provenant des débris végétaux du sol. Les pratiques culturales permettant des restitutions importantes et constantes en résidus organiques au sol dans ces systèmes de culture où la fertilisation minérale est quasi-inexistante pourraient être recommandées. La chute brutale du taux de matière organique des sols tropicaux qui survient dès leur mise en culture ainsi que la dégradation rapide de certaines propriétés du sol (structure, activité biologique, etc.) consécutive à la mise en culture peuvent être attribuées à l'évolution de ces fractions grossières. Le suivi de leur évolution en relation avec ces propriétés pourrait constituer un bon indicateur pour le suivi de l'évolution de la fertilité des sols tropicaux.

**CHAPITRE VI : EVOLUTION DE L'ACTIVITE
MICROBIOLOGIQUE DES SOLS**

Introduction

Les microorganismes du sol jouent un rôle prépondérant dans les processus de transformation de la matière organique notamment la minéralisation de l'azote indispensable aux cultures. Cette transformation est réalisée par une diversité d'organismes dont les bactéries et les champignons. L'activité des microorganismes peut être mesurée à travers les activités enzymatiques (phosphatases, uréase, etc.) qui sont liées aux cycles bio géochimiques, la détermination de la biomasse microbienne.

La biomasse microbienne est un indicateur des changements de la qualité et de la quantité de la matière organique du sol. L'apport de la matière organique au sol stimule l'activité et le développement des micro organismes du sol par un effet direct avec l'apport de substrats carbonés dans les systèmes sol-végétation.

Les travaux de Fauck *et al.*(1969), Carter (1986), Powlson *et al.* (1987), Woods et Schumann (1988), Vong (1987), Gupta et Germida (1989), Angers *et al.*(1992), montrent que l'activité biologique est le paramètre le plus sensible aux modifications du sol par les techniques culturales. Il pourrait constituer un bon indicateur pour le suivi de la fertilité des sols liés aux systèmes de culture pratiqués.

L'objectif de cette étude est d'analyser les différentes relations indiquées dans la figure 9: effet de l'âge de mise en culture sur la biomasse microbienne (relation 3) et son activité respiratoire (relation 2) ; relation entre la biomasse microbienne et l'intensité respiratoire (relation 5) ; relation entre les compartiments granulométriques de la matière organique et l'intensité respiratoire microbienne (relation 4). La relation 1 est étudiée dans le chapitre précédent (chapitre V).

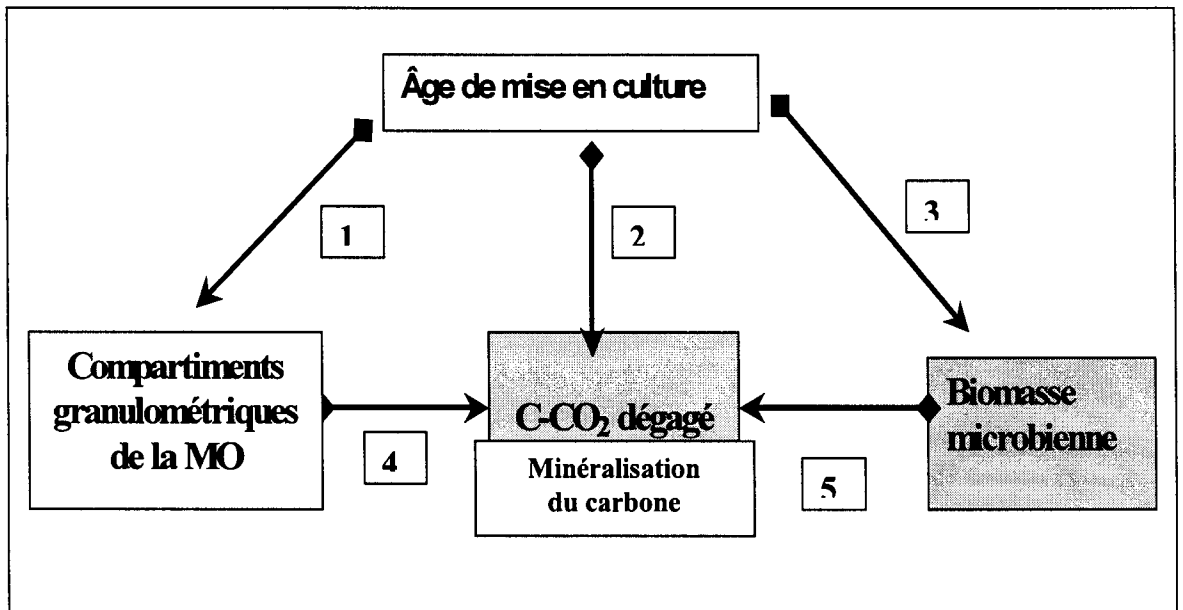


Figure 9: Schéma des relations étudiées

6.1. Evolution de la biomasse microbienne en fonction de l'Âge de mise en culture

Concernant les sols tropicaux, les études sur les transformations réalisées par les microorganismes des sols comme la minéralisation de la matière organique endogène ou exogène, les phénomènes d'immobilisation et de minéralisation de l'azote apporté au sol sous forme d'engrais, la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique, etc. sont relativement nombreuses comparées à celles s'intéressant à la quantification de la biomasse microbienne.

Le tableau 16 montre les valeurs de la biomasse microbienne des parcelles étudiées. Les quantités de carbone de la biomasse microbienne observées oscillent entre 106 et 183 mg/kg de sol. La parcelle de trois ans contient 183 mg de carbone microbien par kg de sol sec et celle de trois ans 146 mg/kg de sol sec. Deux années de culture de plus ont entraîné une réduction du carbone de la biomasse microbienne de 20 %. Sur les champs plus anciens sans fumure organique, elle est comprise entre 106 et 109 mg/ kg de sol. Lorsque le carbone de la biomasse est exprimé par rapport au carbone total du sol, il varie entre 2 et 3 % et correspond à ce qui est généralement observé (Brookes *et al*, 1982 ; Bottner *et al.*, 1984 ; Vong, 1987).

Par ailleurs les quantités d'azote de la biomasse varient entre 16 et 28 mg/kg de sol et représentent entre 4 et 8 % de l'azote total du sol. Ceci est en accord avec les résultats de Vong (1987). L'azote de la biomasse suit la même évolution : il est de 28 mg/kg de sol sec dans la parcelle de 3 ans, de 22 au niveau de la parcelle de 5 ans et de 16 - 17 mg/kg de sol sec dans les parcelles anciennes sans fumure organique ;

La biomasse microbienne (parcelles jeunes sans fumure organique et parcelles anciennes sans apport de matière organique l'année de prélèvement) décroît suivant un modèle de type « puissance » ($Y = ax^b$) par rapport à l'âge des parcelles (figures 10 et 11). Le coefficient de corrélation est très élevé ($R^2 = 0,9451$) et la régression hautement significative. Le carbone de la biomasse est égal à : $y = 200,43 x^{-0,1464}$, X correspond à l'âge de la parcelle.

Tableau 16: Evolution de la biomasse microbienne en fonction de l'âge de la parcelle

Parcelles	Nom	Age	C-biomasse mg.kg -1sol	N- biomasse mg.kg - 1sol	C-biomasse % C total du sol	N-biomasse %N total du sol
parcelle 1	paw	3	183	28	2,96	6,27
parcelle 2	ge	5	146	22	3,13	7,18
parcelle 3	bag	60	109	16	2,03	4,65
parcelle 4	er	72	106	16	2,18	4,79
parcelle 5	etw	80	109	17	2,43	4,94

Relation entre la Biomasse microbienne et l'âge du champ

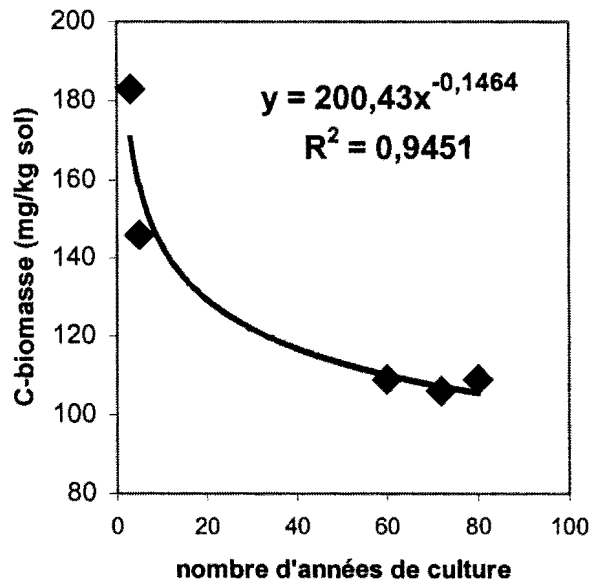


Figure 10 : Evolution de la biomasse microbienne en fonction de l'âge des parcelles : C-biomasse exprimé en mgC.kg-1 sol

Evolution de la biomasse microbienne

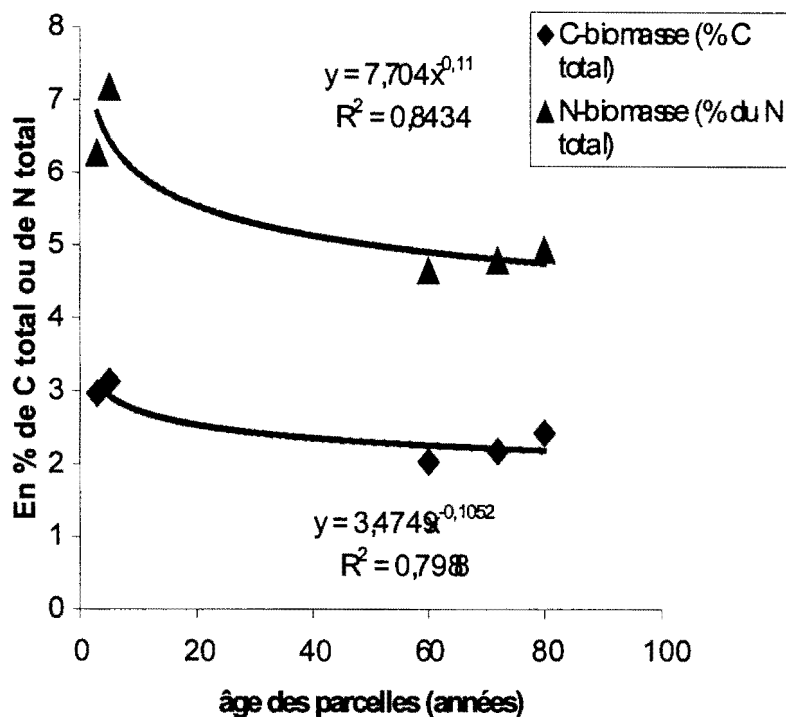


Figure 11 : Evolution de la biomasse microbienne en fonction de l'âge des parcelles : C-biomasse et N-biomasse exprimé en % de C total ou N total

6.2. Relation entre la biomasse microbienne et la respiration du sol

La figure 12 montre que la quantité de CO₂ dégagé en 21 jours d'incubation est liée à l'importance de la biomasse microbienne présente dans le sol. Plus cette biomasse est importante plus la quantité de gaz carbonique respirée est élevée.

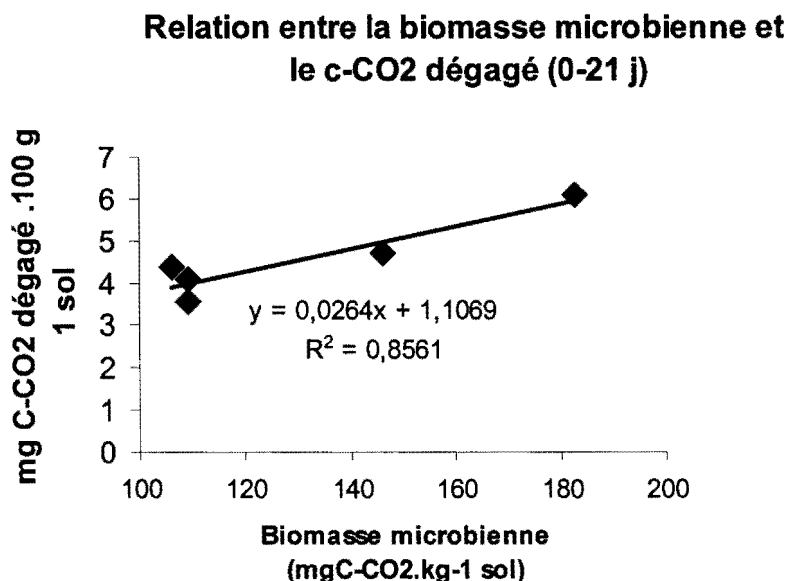


Figure 12 : Relation entre le carbone minéralisé en 21 jours et l'importance des différents compartiments granulométriques de la matière organique du sol

6.3. Activité respiratoire des sols

La respiration du sol résulte de la dégradation de la matière organique. Elle se traduit par la production de C CO₂ par les bactéries, les champignons, les algues et les protozoaires, les parties hypogées des végétaux et les apports d'origines abiotiques des roches carbonatées. Le CO₂ représente le stade final de l'oxydation des substrats organiques et sa mesure fournit des informations sur la population microbienne. Le pouvoir minéralisateur d'un sol peut s'exprimer par la minéralisation du carbone ou de l'azote (DOMMARGUES et MANGENOT, 1970 ; DELPHIN et TIQUET, 1989). Cette minéralisation est sous la dépendance des facteurs climatiques (température et humidité) et édaphiques (pH, texture, nature et quantité de matières organiques, type de sol).

a. Cinétique de dégagement de CO₂ des sols durant l'incubation

L'étude de la cinétique de l'activité minéralisatrice, appréciée par le dégagement de gaz carbonique, concerne d'une part les sols ayant

préalablement subi une fumigation au chloroforme en vue de la quantification de la biomasse microbienne et d'autre part les échantillons n'ayant subi aucun autre traitement avant l'incubation. On a représenté sur la figure 13, les courbes d'évolution du dégagement de C-CO₂ par jour de l'ensemble des échantillons. Les données chiffrées se trouvent en annexe. On peut distinguer deux phases, particulièrement nettes sur les échantillons fumigés :

Première phase :

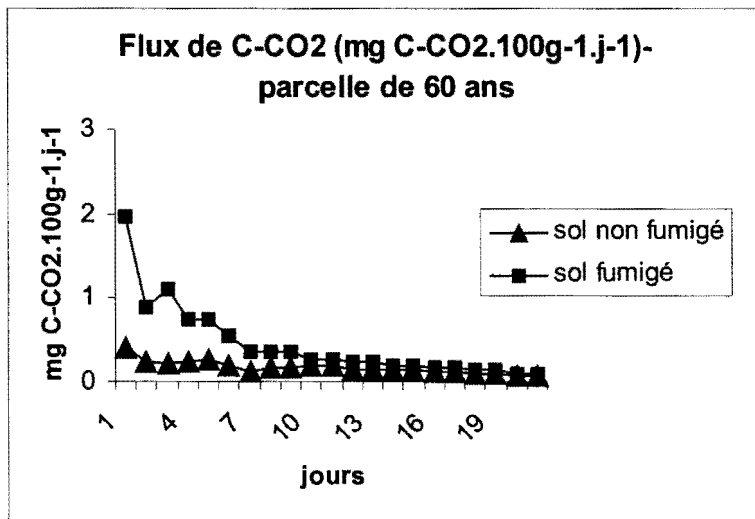
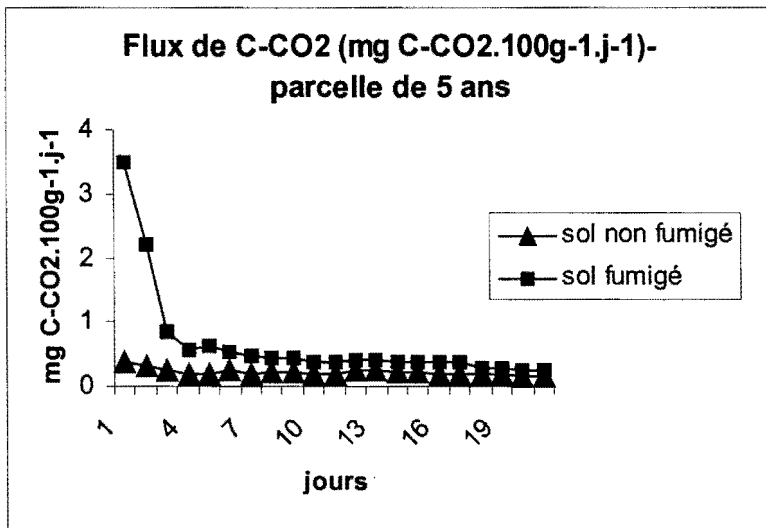
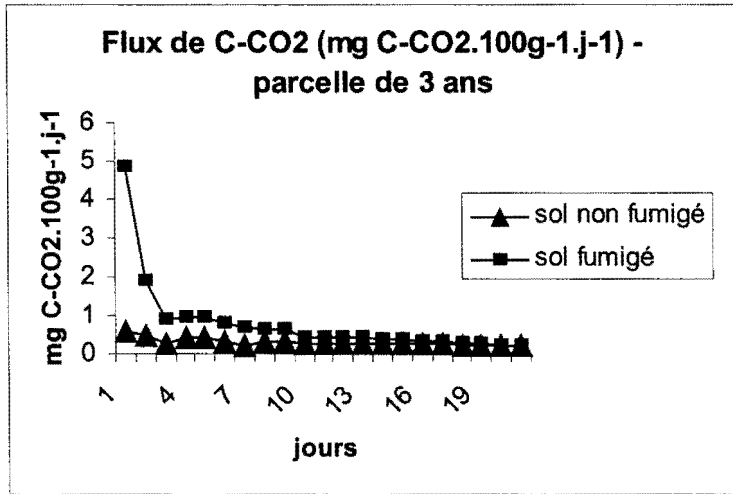
Elle se caractérise par une intense activité respiratoire appelée "*flush*". Les quantités de CO₂ produites sont plus importantes le premier jour puis diminuent rapidement jusqu'au 3ème-4ème jour. Dans les échantillons fumigés, le flux journalier de CO₂ baisse ensuite progressivement pour se stabiliser entre le 7ème et le 10ème jour d'incubation.

Deuxième phase :

La phase d'intense minéralisation est suivie d'une seconde phase plus longue pendant laquelle la vitesse de minéralisation semble se stabiliser.

Les quantités de carbone minéralisé par semaine par parcelle sont consignées dans le tableau 17.

Au total, en 21 jours d'incubation les quantités totales de carbone minéralisé par les sols non fumigés varient entre 3,54 et 6,10 mg C- CO₂ .100g⁻¹de sol et celles dégagées par les sols fumigés oscillent entre 9,3 et 16,2 mg C- CO₂ .100g⁻¹de sol.



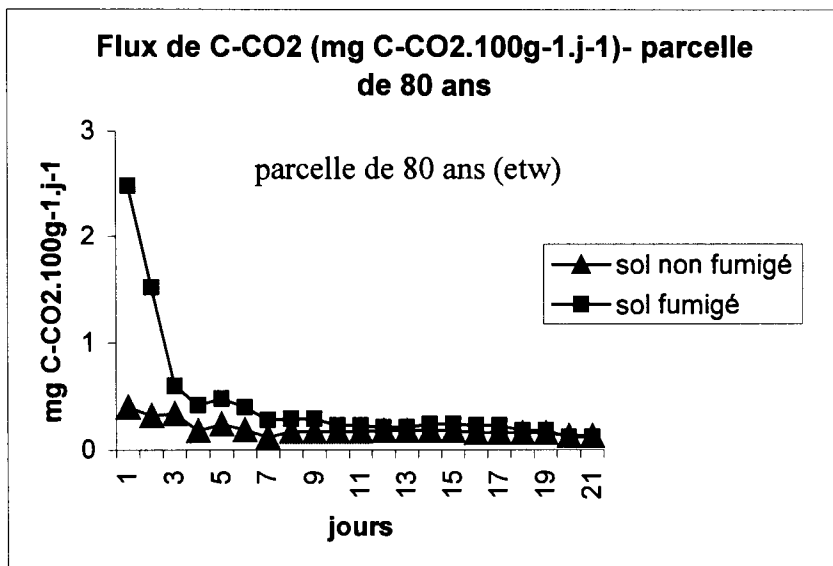
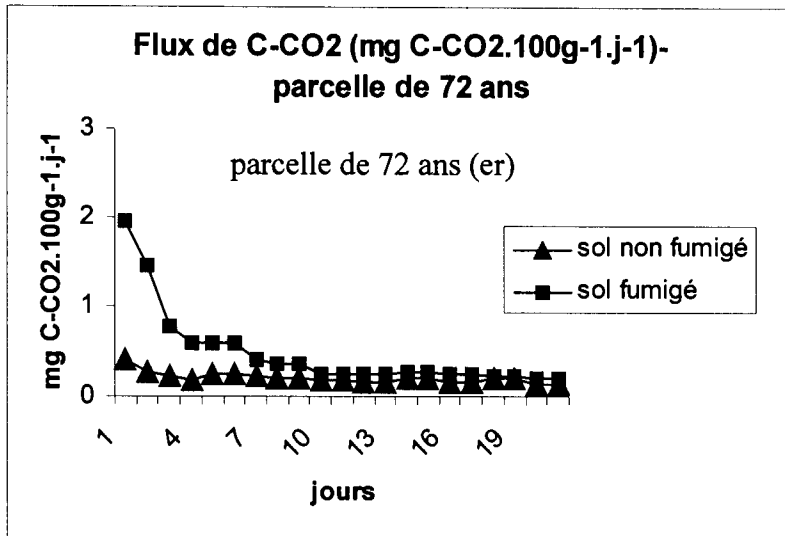


Figure :13 Flux journalier de C-CO₂ sur les sols fumigés et non fumigés en 21 jours d'incubation

Tableau 17: Quantités de carbone minéralisé des sols non fumigés par semaine

Age de la parcelle	mgC-CO ₂ /100g (0-7j)	mgC-CO ₂ /100g (7-14j)	mgC-CO ₂ /100g (7-14j)	mgC-CO ₂ /100g (0-21j)
3 ans	2,64	1,93	1,53	6,10
5 ans	1,78	1,57	1,33	4,68
60 ans	1,70	1,12	0,72	3,54
72 ans	1,81	1,33	1,23	4,37
80 ans	1,79	1,22	1,08	4,09

b. Ajustement d'une courbe de régression aux flux journaliers de CO₂

Nous avons cherché à ajuster une courbe de régression de type puissance aux flux journaliers de C-CO₂ (figure 14). Le tableau 18 résume les paramètres des équations des courbes de régression ajustées à l'évolution du gaz carbonique dégagé au cour de l'incubation. On peut noter que le paramètre A de la parcelle de 3 ans est plus élevé. Les autres parcelles montrent des valeurs peu différentes.

Tableau 18 : Paramètres des équations décrivant l'évolution du Carbone minéralisé par jour

C- CO ₂ (mg C.100g ⁻¹ de sol sec) = Ax ^B x = âge du champ (années)				
Champs	code	Paramètres		R ²
		A	B	
Champ de 3 ans	PAW	0,6536	-0,37	0,89
Champ de 5 ans	GE	0,3297	-0,21	0,69
Champ de 60 ans	BAG	0,4137	-0,46	0,88
Champ de 72 ans	ER	0,4070	-0,34	0,93
Champ de 80 ans	ETW	0,4110	-0,35	0,88

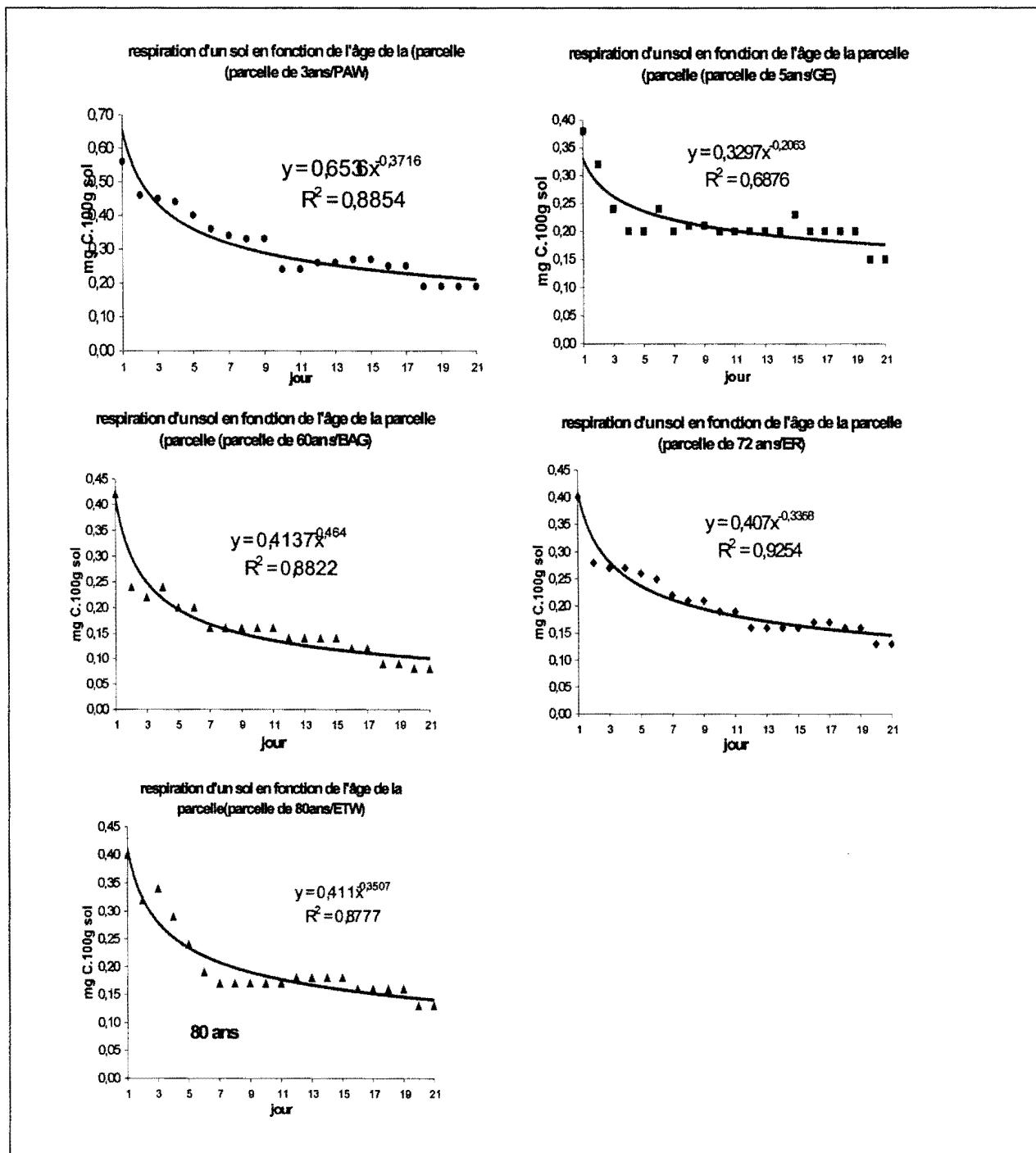


Figure 14 : Evolution du flux de C-CO2 par parcelle (en mgC-CO2.100g-1) : ajustement d'une fonction puissance ($y = ax^b$)

c. Ajustement d'une courbe de régression aux quantités de CO₂ dégagé dans la première semaine et en 21 jours

Selon que l'on considère le carbone dégagé dans la première semaine (figure 15) ou sur les 21 jours (figure 16), la relation avec l'âge de la parcelle présente une certaine différence. L'ajustement d'une fonction de type puissance est moins bon si l'on considère le carbone dégagé en 7 jours d'incubation.

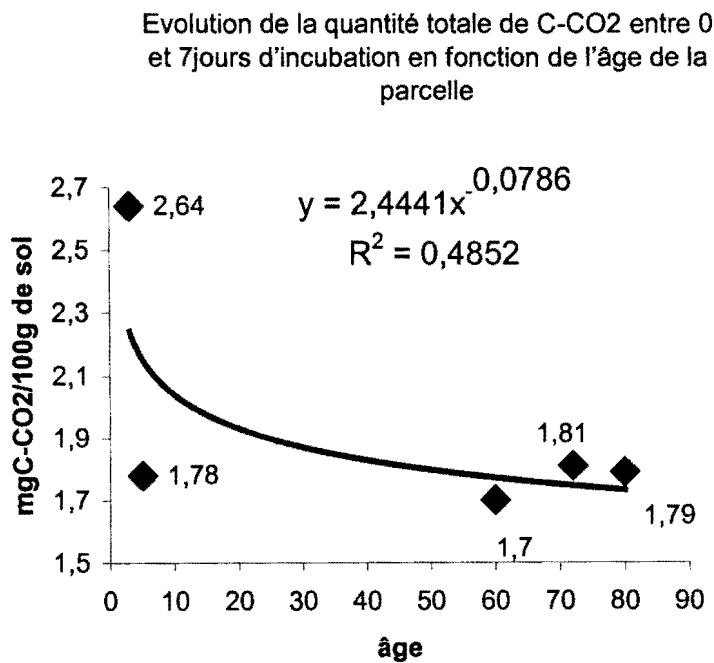


Figure 15: Evolution de la quantité totale de C-CO₂ dégagé entre 0 et 7 jours d'incubation en fonction de l'âge de la parcelle : ajustement d'une fonction puissance

Evolution du C-CO₂ dégagé en 21 jours d'incubation en fonction de l'âge de la parcelle

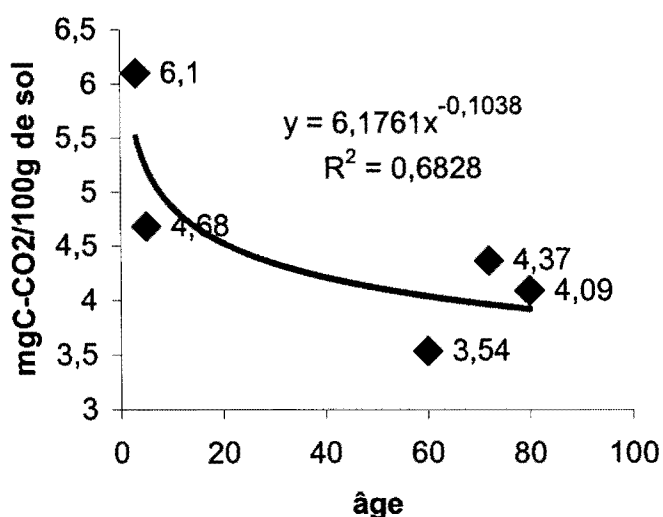


Figure 16 : Evolution de la quantité totale de C-CO₂ dégagé en 21 jours d'incubation en fonction de l'âge de la parcelle : ajustement d'une fonction puissance

6.4.Effet de la fumure organique sur l'activité microbiologique des sols

Les deux parcelles en comparaison sont des parcelles anciennes recevant occasionnellement de la fumure organique. Mais Durant l'année de l'étude, la parcelle témoin n'a pas reçu la matière organique. La comparaison de ces deux parcelles permet de mettre en évidence l'effet de la matière organique.

La fumure organique a un effet positif sur l'ensemble des paramètres mesurés (Tableau 19). On note en effet des accroissements du carbone de la biomasse de 39% et de l'azote de la biomasse de 44%. La quantité de carbone respiré est également accrue de 30,6% pour le carbone dégagé dans la première semaine d'incubation. Pour le carbone dégagé dans la deuxième semaine, on note un accroissement de 60,7%, et pour le carbone dégagé dans la troisième semaine l'accroissement est

de 131%. Il en résulte un accroissement global de 60,5% pour le carbone respiré en 21 jours.

Tableau 19: Effet de la fumure organique sur la biomasse microbienne et le carbone dégagé

Paramètres	Unités	Parcelle Témoin sans apport de matière organique (BAG)	Parcelle avec apport de matière organique (WE)	Effet de la fumure organique en %
C-biomasse	(mg/kg de sol)	109	152	+39,4
N-biomasse	(mg/kg de sol)	16	23	+43,8
C-biomasse	% C sol	2,03	2,66	+31,0
N-biomasse	% N sol	5	6	+20,0
C-CO ₂ (0-7j)	mg/100g sol	1,70	2,22	+30,6
C-CO ₂ (7-14j)	mg/100g sol	1,12	1,80	+60,7
C-CO ₂ (14-21j)	mg/100g sol	0,72	1,66	+130,6
C-CO ₂ (0-21j)	mg/100g sol	3,54	5,68	+60,5

6.5. Relation entre la quantité de carbone dégagée en 21 jours d'incubation et les compartiments granulométriques de la matière organique

Cette étude fait suite à l'analyse de la matière organique du sol par fractionnement granulométrique du chapitre précédent. Elle vise à mettre en relation le carbone dégagé en 21 jours d'incubation et les différents compartiments granulométriques de la matière organique obtenus par fractionnement physique. Il s'agit de voir quel est le compartiment qui participe le plus au carbone total minéralisé durant les 21 jours d'incubation. Ces relations sont illustrées sur la figure.17. En comparant les trois relations, on note que la meilleure relation est observée avec la fraction F0-50 μ ($r^2= 0,77$) suivie de la fraction F50-200 ($r^2 = 0,24$). Le coefficient de corrélation entre le C-CO₂ dégagé et le compartiment F200-2000 est pratiquement nul. On peut donc émettre l'hypothèse que le C-

CO₂ minéralisé au cours de cette incubation de 21 jours aurait en grande partie pour origine la matière organique de la fraction organo-minérale (F0-50µm).

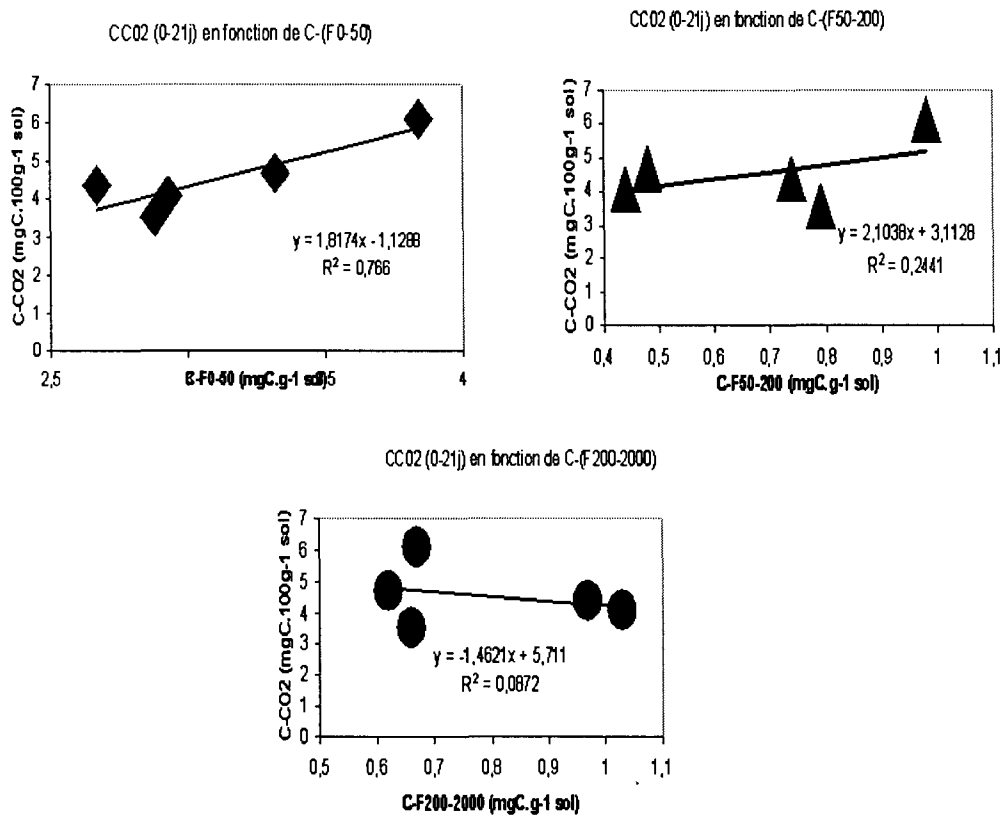


Figure 17: Relation entre la quantité de carbone dégagé en 21 jours d'incubation et les compartiments granulométriques de la matière organique

DISCUSSIONS-CONCLUSION

L'analyse de la cinétique de dégagement de gaz carbonique a mis en évidence deux phases correspondant à la biodégradation de groupes de matériaux organiques de labilité différente. La première phase caractérisée par une intense minéralisation appelée "flush" résulte de la dégradation d'une matière organique très labile.

Dans les sols fumigés ces produits labiles correspondent aux cadavres des microbes tués au cours de la fumigation, principalement au carbone minéralisable de la biomasse microbienne. Dans la méthode de détermination de la biomasse microbienne proposée par CHAUSSOD et NICOLARDOT (1982), on considère que la plus grande partie du carbone minéralisable est dégagée sous forme de CO₂ en sept jours à 28°C (compte tenu de la vitesse de minéralisation des corps microbiens).

Dans les sols non fumigés il paraît difficile de préciser la nature exacte des produits à l'origine du léger "flush" observé. Il peut s'agir de substances organiques facilement dégradables présentes dans les sols lors du prélèvement ou formées au cours de la conservation.

L'écart énorme qui existe entre les flush mesurés sur les sols fumigés et ceux mesurés sur les sols non fumigés met en évidence l'étroite relation entre l'activité respiratoire des sols et la présence dans le milieu d'un substrat facilement métabolisable.

Lorsque l'incubation est réalisée avec des sols desséchés, le même phénomène est observé. Le "flush" ou "extraminéralisation" (MARY et REMY, 1979 ; DELPHIN et TIQUET, 1989) est alors attribué essentiellement à la minéralisation des produits issus de la destruction partielle de la biomasse microbienne du sol par le séchage (BOTTFNER,

1985) ou à une matière organique très labile comme les hydrosolubles (VONG, 1987).

On a observé sur les courbes d'intensité respiratoire que la respiration du sol fumigé, même après le flush c'est-à-dire après la première semaine d'incubation, est toujours différente de celle du témoin non fumigé. Pourtant, dans la méthode de détermination de la biomasse microbienne proposée par JENKINSON et POWLSON (1976 a,b), le flush est enregistré en mesurant à 25°C le C-CO₂ dégagé durant les 10 premiers jours dans le traitement fumigé (F) et en corrigeant cette mesure pour tenir compte du carbone dégagé d'origine non microbienne. La correction est alors faite en soustrayant la respiration du sol non traité (T) sur une durée identique mais après une période de stabilisation de 10 jours. Le "flush" est alors donné par la formule :

$$\text{FLUSH} = F(0-10j) - T(10-20j)$$

C'est pourquoi, CHAUSSOD et NICOLARDOT (1982) considèrent qu'on ne peut utiliser en toute rigueur la respiration du sol témoin pour corriger le flush de CO₂ dégagé provenant de la matière organique non microbienne. Ces derniers proposent alors de mesurer le flush de décomposition par la quantité de C-CO₂ dégagé entre 0 et 7 jours dans le sol fumigé moins la quantité dégagée entre 7 et 14 jours dans le même sol fumigé et incubé deux semaines, à 28°C :

$$\text{FLUSH} = F(0-7j) - F(7-14j)$$

La différence de comportement entre le sol fumigé et le sol non traité est à relier selon CHAUSSOD et NICOLARDOT (1982) aux conditions écologiques très différentes régnant dans les deux situations :

Dans le sol fumigé, on a une microflore peu nombreuse en présence de grandes quantités de matière organique facilement assimilable. Ces conditions favorisent le développement de microorganismes ayant un taux de croissance élevé. Par contre dans le sol non fumigé, la population microbienne est très élevée par rapport au substrat disponible, ce qui favorise les microorganismes à constante de saturation en substrat faible.

Les travaux au champ sur la minéralisation de l'azote organique dans les sols tropicaux à longue saison sèche d'Afrique de l'Ouest tels que ceux de DOMMERGUES et MANGENOT (1970), JUNG (1970), PICHOT et al. (1974), GIGOU (1982), etc., ont mis en évidence une cinétique similaire à celle observée en laboratoire. Il a été mis en évidence que l'arrivée des premières pluies, après les longs mois de sécheresse, déclenche une flambée de l'activité biologique se traduisant par un "pic" d'azote minéral (ammoniacal et nitrique) dans l'horizon de surface. Cette activité biologique explosive n'excède pas 20 jours (BLONDEL, 1973 ; GANRY, 1973) et caractérise la première phase de la dynamique microbienne observée d'ailleurs en laboratoire. Cette intense minéralisation de l'azote est suivie d'une chute rapide à un niveau beaucoup plus bas pendant toute la phase humide. Ce flush serait dû aux modifications induites par la dessiccation du sol : fragmentation de la matière organique du sol, augmentation de la teneur en oligosaccharides et en acides aminés, augmentation de la teneur en azote minéral essentiellement sous forme d'ammonium échangeable (ammonification non biologique), accroissement des formes facilement assimilables de certains éléments, tels que la potasse, le phosphore, le soufre (CAMPBELL, 1978 cité par GIGOU, 1982 ; DOMMERGUES et MANGENOT, 1970).

La poussée d'activité observée à la suite de la réhumidification du sol après une phase de dessiccation porte essentiellement sur les

processus suivants : minéralisation du carbone organique du sol (dégagement de CO₂), minéralisation de l'azote et du phosphore organiques du sol, dénitrification (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970). Sur le plan agronomique, le décalage entre la période de forte minéralisation et celle où les besoins des plantes sont plus élevés (BACYE, 1993) constitue un inconvénient majeur qui peut être atténué par la pratique des semis précoces. Par ailleurs il semble qu'une bonne partie de l'azote minéralisé pendant le "flush" est perdue essentiellement par lixiviation (BLONDEL, 1971; GIGOU, 1982) et dans les eaux de ruissellement.

La mesure de la biomasse microbienne de quelques sols cultivés par la méthode de fumigation au chloroforme a permis de mettre en évidence que la biomasse microbienne est un paramètre très sensible à la mise en culture. Dans le cadre d'une gestion durable de la fertilité des sols, il pourrait être utilisé comme indicateur de suivi de la dégradation des sols mis en culture.

La biomasse microbienne a été déterminée par la méthode de fumigation au chloroforme proposée par CHAUSSOD et NICOLARDOT (1982). Cette méthode qui résulte de celle décrite par JENKINSON et POWLSON (1976 a, b) présente la particularité d'évaluer le CO₂ d'origine non microbienne sur les échantillons fumigés après l'accomplissement du "flush".

Dans le but d'une étude comparative, l'azote de la biomasse a été calculé par simple conversion en divisant le carbone de la biomasse par une constante égale à 6,6, valeur considérée comme une moyenne du rapport C/N de la biomasse microbienne (ANDERSON et DOMSCH, 1980).

La biomasse microbienne présente dans l'horizon de surface a été évaluée sur un échantillon restreint. Les quantités de carbone de la biomasse microbienne observées oscillent entre 106 et 183 mg/kg de sol.

Lorsque le carbone de la biomasse est exprimé par rapport au carbone total du sol, il varie entre 2 et 3 %. et correspond à ce qui est généralement observé (BROOKES *et al.*, 1982 ; BOTTNER *et al.*, 1984 ; VONG, 1987). Par ailleurs les quantités d'azote de la biomasse varient entre 16 et 28 mg/kg de sol et représentent entre 4 et 8 % de l'azote total du sol. Ceci est en accord avec les résultats de VONG (1987).

Les valeurs de biomasse que nous avons fournies sont ponctuelles et concernent donc une phase bien déterminée de la dynamique de la population microbienne qui connaît des variations saisonnières (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970 ; VONG, 1987). Néanmoins on se rend compte que la contribution quantitative de ce compartiment "biomasse microbienne" au carbone et à l'azote organiques totaux dans les sols est faible. Pourtant son rôle déterminant dans l'évolution de la matière organique et la fertilité des sols est bien connu.

Dans les sols étudiés, l'âge de mise en culture modifie le niveau de la biomasse microbienne des sols. Le remplacement d'un couvert végétal naturel par des cultures annuelles entraîne en effet des modifications de la biologie des sols. On assiste à une diminution des activités de la mésofaune et de la microflore, de leur abondance et de leur diversité. S'agissant des microorganismes, il apparaît à travers notre étude que dans les systèmes de culture paysans étudiés, il y a diminution de la biomasse microbienne en fonction de l'âge de mise en culture. Cette diminution est brutale dès les premières années de culture. Ce résultat va dans le même sens que ceux de FAUCK *et al.*(1969), CARTER (1986), POWLSON *et al.*(1987), WOODS et SCHUMANN (1988), VONG (1987), GUPTA et GERMIDA (1989), ANGERS *et al.*(1992). Selon certains auteurs comme CARTER (1986), POWLSON *et al.*(1987), WOODS et SCHUMANN (1988), les caractéristiques biologiques sont les plus sensibles à la mise en culture. Au Québec, ANGERS *et al.* (1992) observent une chute de 50 % de la biomasse après 4 ans de culture. Aux

Etats-Unis, GUPTA et GERMIDA (1989) enregistre une réduction de 44,36 % du carbone de la biomasse après 69 ans de culture d'une prairie naturelle. BADIANE NIANE (1993) constate dans les sols sableux cultivés de la zone centre-nord du Sénégal un niveau de biomasse microbienne inférieur à celui de la jachère. Il semble d'après ALEXANDER (1977) cité par BADIANE NIANE (1993) que la nature plus fibreuse de la rhizosphère sous jachère soit plus favorable à une prolifération des microorganismes.

Si l'âge de mise en culture agit dans le sens d'une réduction de la biomasse, certaines pratiques culturales comme la fumure organique, en mettant à la disposition des microorganismes une source de carbone et d'énergie, stimule l'activité biologique des sols. Les matières organiques sont alors transformées par les microorganismes hétérotrophes en métabolites et en nouveaux corps microbiens, d'où augmentation du niveau de la biomasse microbienne et de l'activité respiratoire.

Plusieurs facteurs interviennent dans la variation de l'activité minéralisatrice du sol tels que la texture (effet protecteur des substances humiques par formation de complexes organo-minéraux moins accessibles à la biodégradation), l'humidité, la température, le pH, les substances nutritives dont une partie trouve son origine dans les processus de dégradation des substances organiques. Dans les conditions de laboratoire, nous avons montré, par une relation statistique, que la quantité totale de C-CO₂ dégagé durant les 21 jours d'incubation était surtout expliquée par la quantité de matière organique du compartiment organo-minéral F0-50 par rapport aux fractions grossières.

Plusieurs auteurs ont plutôt montré que c'est la fraction grossière qui est le siège d'une activité minéralisatrice intense. En effet, avec un rapport C/N élevé, elles constituent une source énergétique pour la microflore hétérotrophe (FELLER *et al.*, 1983, 1987 ; CISSE, 1986, FRANÇOIS, 1988, ELUSTONDO *et al.*, 1990 ; BACYE, 1993, FELLER *et al.*

(1983), KANAZAWA (1979), DALAL et MAYER (1986), CHRISTENSEN (1987). Cette biodégradabilité élevée explique ainsi la disparition rapide de ces compartiments lors de la mise en culture des sols (CERRI *et al.*, 1985 ; DALAL et MAYER, 1986 ; ZHANG *et al.*, 1988 ; ANGERS et MEHUYS, 1990 ; ELUSTONDO *et al.*, 1990 ; FELLER *et al.*, 1990).

Nos résultats pourraient s'expliquer par la durée de l'incubation. En effet elle était de 21 jours et s'avérait insuffisante pour permettre la dégradation de la matière grossière.

CONCLUSION GENERALE

Cette étude a permis d'apporter quelques éléments de réponse au problème complexe de maintien de la fertilité des sols ferrugineux tropicaux de la zone du Plateau Central fortement affectée par la dégradation de ses ressources naturelles. En particulier le rôle de la matière organique dans le maintien de la capacité productive des sols soumis à la culture continue a pu être précisé.

Les méthodes utilisées aussi bien sur le terrain qu'en laboratoire ont permis de dégager les éléments essentiels suivants :

Les situations culturales caractérisées par une culture continue depuis de longues années sans restitutions organiques au sol assurent les niveaux de production végétale les plus bas.

- L'analyse des caractères chimiques de l'horizon de surface des sols de deux terroirs représentatifs du Plateau Central révèle une dégradation profonde des sols en culture continue de sorgho depuis plus de trente ans sans restitutions organiques. Dans la situation "*sans fumure organique*" le taux de carbone est en moyenne de 4,36 mg/g de sol. En présence de restitutions organiques, on constate un enrichissement du sol en carbone total (5,98 mgC/g). La fumure organique a entraîné un accroissement du carbone total de 37% par rapport au témoin.

Sur la parcelle avec fumure organique la teneur en azote totale a connu une augmentation de 28,6 %.

- La fumure organique n'a pas modifié statistiquement les teneurs en phosphore total et en phosphore assimilable du sol.
- En considérant la dose actuellement employée par la plupart des agriculteurs de cette zone, la fumure organique, permet d'augmenter le stock de carbone total du sol (+ 37 %) en particulier la fraction grossière, F50-200µm) (+64%), le pH du sol,

l'azote total du sol ainsi que les bases échangeable. (Ca échangeable = +47 %, Mg échangeable = +52 % : K échangeable = +69%).

Les rendements en paille sont en augmentation du fait de la fumure organique (+88%). Les rendements en grain ne sont pas améliorés du fait d'un déficit hydrique intervenu au remplissage des grains.

- Le fractionnement granulométrique de la matière organique permet d'obtenir trois fractions : deux fractions grossières associées respectivement aux sables grossiers (F200-2000) et aux sables fins (F50-200) et une fraction de nature organo-minérale associée aux argiles et aux limons (F0-50). Dans ces sols sableux, la matière organique de la fraction granulométrique de taille inférieure à 50µm est dominante et constitue la fraction la plus stable vis-à-vis de la biodégradation et des variations de stock sous l'effet des pratiques culturales. Par contre les fractions grossières représentent le compartiment le plus labile et le plus sensible aux variations de stock. En effet : la mise en culture d'un sol sous végétation naturelle entraîne, en l'absence de restitutions organiques, une baisse rapide du contenu en carbone des fractions grossières. Cette labilité lui confère un rôle très important dans la nutrition des plantes dans ces systèmes de culture où la fertilisation minérale est quasi-inexistante ; en présence de restitutions organiques, ce sont les fractions grossières qui subissent la plus grande variation du niveau de leur stock.

- La détermination de la biomasse microbienne de quelques sols dès les premières pluies, par la méthode de fumigation au chloroforme, montre que le carbone de la biomasse microbienne varie entre 106 et 183 mg/kg de sol sec et représente 2,03 à 3,13 % du carbone total du sol ; l'azote de la biomasse se situe entre 16 et 28 mg/kg de sol sec et représente 4,65 à 7,18 % de l'azote total du sol. La

biomasse microbienne tend à baisser en fonction de l'âge de mise en culture. Il en est de même de l'aptitude des sols à la minéralisation appréciée par la mesure en laboratoire du gaz carbonique dégagé durant une incubation de trois semaines. Cependant la fumure organique permet d'accroître la biomasse microbienne et son activité.

L'ensemble de ces résultats laisse supposer que l'utilisation de la matière organique en milieu paysan peut constituer un facteur important aussi bien dans l'accroissement des rendements des cultures que dans la reproductibilité des systèmes sédentarisés. Toutefois son efficacité passe par une amélioration de sa qualité (amélioration de sa richesse chimique par incorporation de certains éléments comme les phosphates naturels)

Dans une première phase, ces améliorations permettront d'accroître la disponibilité en résidus végétaux pour les besoins de la fumure organique. Dans une seconde phase, l'accent devra être mis sur l'intensification de la production de certaines parcelles pour la couverture des besoins alimentaires. Ce qui permettra de libérer et de mettre certaines terres en jachère.

L'agroforesterie et l'intégration de l'élevage dans l'agriculture devraient permettre de satisfaire les besoins en combustibles et d'accroître la disponibilité de la fumure organique. De même, les efforts déjà déployés dans la lutte antiérosive doivent se poursuivre voire s'intensifier.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABBADIE L., MARIOTTI A., MENAUT J.C., 1992. Independence of savanna grasses from soil organic matter for their nitrogen supply. *Ecology*, 73. p 608-613.

ALLARD J.L., BERTHEAU Y., DREVON J.J., SEZE O., GANRY F., 1983. Ressources en résidus de récolte et potentialités pour le biogaz au Sénégal. *L'Agron. Trop.*, 38 (3) : 213-221.

ALBRECHT A., BROSSARD M. , FELLER C., 1986. Etude de la matière organique des sols par fractionnement granulométrique. II : Augmentation par une prairie à *Digitaria decumbens* du stock organique de vertisols cultivés en Martinique. In : *Trans. XIII Cong. Intern. Soc. Soil Sci.*, Hambourg, 1986, col.II, 214-215.

ANDERSON J.P.E. , DOMSCH K.H., 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10 : 215-221.

ANDERSON J.P.E., DOMSCH K.H., 1980. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. *Soil science* 130 : 211-216.

ANDERSON D.W., Paul E. A., 1984. Organo-mineral complexes and their study by radiocarbon dating. *Soil Sci. Soc. Amer.J.*, 48 : 298-301.

ANDREUX F., BRUCKERT S., CORREA A., SOUCHIER B., 1980. Sur une méthode de fractionnement physique et chimique des agrégats du sol : origine possible de la matière organique des fractions obtenues. *C.R. Hebd. séances acad. Sci*, 291 (4) : 381-384.

ANGE A., 1990. Stratification de l'espace rural et diagnostic des contraintes du milieu à la production végétale. Actes des journées de la DRN, IRAT-CIRAD, Montpellier 12-15 sept. 1989, 35-65.

ANGERS D.A., MEHUYS G.R., 1989. Effects of cropping on carbohydrate content and water-stable aggregation of clay soil. *Can. J. Soil Sci.*, 69 : 373-380.

ARRIVETS J., 1974. Fertilisation des variétés voltaïques de sorgho sur les sols ferrugineux tropicaux du Plateau Mossi. Doc. multigr.IRAT, Haute Volta, 49 p. et annexes.

ARRIVETS J., 1976. Exigences minérales du sorgho. Etude d'une variété voltaïque à grande tige. *L'Agron. Trop.*, 31 (1) : 29-46.

AYANABA A., TUCKWELL S.B., JENKINSON D.S., 1976. The effects of clearing and cropping on the organic reserves and biomass of tropical forest soils. *Soil Biol. and Biochem.*, 8 : 519-525.

AZAM F., MALIK K.A., HUSSAIN F., 1986. Microbial biomass and mineralization. Immobilization of nitrogen in some agricultural soils. *Biology and Fertility of soils*, 2(3) : 157-165.

BACYE B., 1993. Influence des systèmes de culture sur l'évolution du statut organique et minéral des sols ferrugineux et hydromorphes de la zone soudano-sahélienne (Province du Yatenga, Burkina Faso). *Thèse de docteur en sciences. Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille.* 243 p.

BALESDENT J., GUILLET B., 1982. Les datations par le ^{14}C des matières organiques des sols. Contribution à l'étude de l'humification et du renouvellement des substances humiques. *Science du sol*, 2 : 93-112.

BELIERES J.F., SANON M., BALIMA M., 1989a. Quelques caractéristiques structurelles des exploitations du secteur de Nandiala Sud-Ouest. *Rapport IN.E.R.A., Projet Agrégation des sols*, 10p.

BELIERES J.F., SANON M., BALIMA M., 1989b. Fertilisation minérale de la zone d'étude. *Rapport IN.E.R.A., Projet Agrégation des sols*, 22 p.

BELIERES J.F., SANON M., BALIMA M., 1989c. Données démographiques sur la zone d'étude. *Rapport IN.E.R.A., Projet Agrégation des sols*, 11 p.

BERTRAND R., 1989. Mécanismes d'agrégation des sols tropicaux pauvres en argiles gonflantes. Rapport préliminaire de la mission de reconnaissance morphopédologique des régions de Saria (Burkina Faso) et de Molobala (Mali). *Doc.IRAT/DRN*, 4, Montpellier, 35 p.

BERTRAND R., 1990. Organisations morphopédologiques du milieu naturel et recherches agronomiques. *Actes des journées de la DRN, CIRAD-IRAT, Montpellier* : 67-74.

BLONDEL D., 1971a. Contribution à l'étude du lessivage de l'azote en sol sableux (Dior), SENEGAL. *L'Agron.Trop.*, 26 (6-7) : 687-696.

BLONDEL D., 1971 b. Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral :

- en sol sableux au SENEGAL. *L'Agron.Trop.*, 26 (12) : 1303-1333 ;
- en sol ferrugineux tropical à Séfa. *L'Agron.Trop.*, 26(12) : 1334-1353 ;

- en sol ferrugineux tropical à Nioro du RIP. *L'Agron.Trop.*, 26 (12) : 1354-1361.

BLONDEL D., 1971 c. Rôle de la matière organique libre dans la minéralisation en sol sableux, relation avec l'alimentation azotée du mil. *L'Agron.Trop.*, 26 (12) : 1372-1377.

BLONDEL D., 1973. Evolution de l'azote minéral en sol ferrugineux tropical sous culture du mil (*Pennisetum Typhoïdes*). *Sols Africains*, 17(1) : 215- 220.

BOISSEZON (P.de), MOUREAUX C., BOQUEL G., BACHELIER G., 1973. Les sols ferrallitiques. Tome IV : la matière organique et la vie dans les sols ferrallitiques. *ORSTOM, Initiations-Documentations Techniques. N° 21, 146 p.*

BOISSEZON (P.de), 1988. Effets de l'enfouissement de paille de luzerne sur la capacité d'échange d'un sol brun sur limon des plateaux *C.R.journée de pédologie, ORSTOM, sept. 1988. Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 24(4) : 337-339.

BONI J., OUEDRAOGO J. S., SANOGO A., SAWADOGO P., SIRPE G., ZERBO J., ZOUNDI J.S., 1989. Potentialités agroforestières de zone semi-aride du Burkina Faso. 118 p.

BONZI M., 1989. Etude des techniques de compostage et évaluation de la qualité des composts : effets des matières organiques sur les cultures et la fertilité des sols. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, IDR, Univ.de Ouagadougou, 61p.

BOTTNER P., 1985. Response of microbial biomass to alternate moist and dry conditions in a soil incubated with ^{14}C and ^{15}N -labelled plant material. *Soil Biol. and Biochem.*, 17 : 329-337.

BOULET R., 1976. Notice des cartes de ressources en sols de la HAUTE VOLTA, Echelle 1/5 000. ORSTOM. Paris.

BOUYER S., 1959. Etude de l'évolution du sol dans un secteur de modernisation agricole au SENEGAL. CCTA, III^{ème} conf. Interaf. des sols, Dakar, 2 : 841-850.

BOYER J., 1982. Les sols ferrallitiques. Tome X : Facteurs de fertilité et utilisation des sols. *Initiations-Documentations techniques n° 52*, 384p.

BROOKES P.C., POWLSON D.S., JENKINSON D.S., 1982. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biol. and Biochem.*, 14 : 319-329.

BROOKES P.C., KRAGT J.F., POWLSON D.S., JENKINSON D.S., 1985a. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen : the effects of fumigation time and temperature. *Soil Biol. and Biochem.*, 17(6) : 831-835.

BROOKES P.C., ANDREA L., PRUDEN G., JENKINSON D.S., 1985b Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen : a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. and Biochem.*, 17(6) : 837-842.

BRUCKERT S., 1979. Séparation des complexes organo-minéraux et des matières organiques libres par tamisage dans l'eau : application aux sols à complexes argilo-humiques flocculés. *Ann. Scient. Univ. Franche-Comté, Biol. Végét.*, 3^{ème} sér., 20 : 3-7.

CAMPBELL C.A., 1978. Soil organic carbon, nitrogen and fertility. *In* : SCHNITZER M. and KHAN : soil organic matter, *S.V., Ed., Elsevier, 173-271.*

CATTAN P., SCHILLING R., 1990. Les systèmes arachidières dans les zones de savane Ouest - africaines. *In* Actes des rencontres internationales "Savanes d'Afrique, terres fertiles ? ", 10-14 décembre 1990, Montpellier : 145-171.

CERRI C., FELLER C., BALESSENT J., VICTORIA R., PLENECASSAGNE A., 1985.

Application du traçage isotopique naturel en ^{13}C à l'étude de la dynamique de la matière organique dans les sols. *C.R. Acad. Sc., Paris, t.300, 2(9) : 423-428.*

CESAR J., COULIBALY Z., 1991. Le rôle des jachères et des cultures fourragères dans le maintien de la fertilité des terres. *In* Actes des rencontres internationales "Savanes d'Afrique, terres fertiles ?", 10-14 déc.1990, Montpellier : 271-287.

CHARREAU C., FAUCK R., 1970. Mise au point sur l'utilisation agricole des sols de région de Séfa. *L'Agronomie Tropicale., 25 (2) : 151-191.*

CHARREAU C., NICOU R., 1971. L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo- argileux de la zone tropicale sèche ouest-africaine et ses incidences agronomiques (d'après les travaux des chercheurs de l'IRAT en Afrique de l'Ouest). *Bulletin Agronomique nE 23, IRAT.*

CHAUSSOD R., NICOLARDOT B., 1982. Mesure de la biomasse microbienne dans les sols cultivés. I- Approche cinétique et estimation

simplifiée du carbone facilement minéralisable. *Rev. Ecol.Biol.Sol*, 19 : 501-512.

CHAUSSOD R., NICOLARDOT B., CATROUX G., 1986a. Mesure en routine de la biomasse microbienne des sols par la méthode de fumigation au chloroforme. *Science du Sol*, 2 : 201-211.

CHAUSSOD R.,NICOLARDOT B.,CATROUX G.,CHRETIEN J., 1986b. Relations entre les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de quelques sols cultivés. *Science du Sol*, 2 : 213-226.

CHOPART J.L., NICOU R., 1973. Effet dépressif de cultures répétées du sorgho dans les sols sableux du Sénégal. Premiers essais d'explication. *Sols Africains*, 17 (1) : 181-188.

CHRISTENSEN B.T., 1985. Carbon and nitrogen in particle size fractions isolated from Danish arable soils by ultrasonic dispersion and gravity sedimentation. *Acta Agric.Scand.*, 35 : 175-187.

CHRISTENSEN B.T., 1987. Decomposability of organic matter in particle-size fractions from field soils with straw incorporation. *Soil Biol.and Biochem.*, 19 : 429-435.

CISSE L., 1986. Etude des effets d'apports de matière organique sur les bilans hydriques et minéraux et la production du mil et de l'arachide sur un sol sableux dégradé du Centre-Nord du SENEGAL. *Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, 184 p.*

COINTEPAS J.P., MAKILO R., 1982. Bilan de l'évolution des sols sous culture intensive dans une station expérimentale en milieu tropical humide. *Cah.ORSTOM, sér.Pédol.*,19 (3) : 271-282.

DABIN B., 1971. Etude d'une méthode d'extraction des matières humiques du sol. *Science du Sol*, 1 : 47-63.

DABIN B., 1980-1981. Les matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés. *Cah. ORSTOM, sér. pédol.*, 18 (3-4) : 197-215.

DAGNELIE, P., 1975. Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques, Volume II : Les méthodes de l'inférence statistique, 463 p.

DALAL R.C., MAYER R.J., 1986. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. III-Distribution and kinetics of soil organic carbon in particle size fractions. *Aust. J. Soil Res.*, 24: 293-300.

DELPHIN J., TIQUET J.L., 1989. Analyse et diagnostic de la fertilité. Nouveaux éléments. II : Aspects nutritionnels et phytosanitaires. In : "Fertilité et systèmes de production". INRA, Paris : 168-178.

DIATTA S., 1975. Evolution sous culture de sols de plateau en Casamance continentale. Compte rendu de deux années d'essai. *L'Agron. Trop.*, 30 (30) : 344-353.

DIOUF M., 1990. Analyse de l'élaboration du rendement du mil (*Pennisetum typhoides* Stapf et Hubb.). Mise au point d'une méthode de diagnostic en parcelles paysannes. *Thèse de doctorat de l'INA-Paris-Grignon*. 227 p.

DOMMERMUES Y., MANGENOT F., 1970. Ecologie microbienne du sol. Edition Masson, Paris, 796 p.

DUCHAUFOUR P., JACQUIN F., 1966. Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. *Bull. E.N.S.A, Nancy, 8 (1) : 3-24.*

DUGUE P., 1989. Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de culture vivriers en zone soudano-sahélienne. Le cas du Yatenga (Burkina Faso). Collection "*Documents Systèmes Agraires*", DSA/CIRAD, n°9, 350 p.

DUPONT DE DINECHIN B., 1967. Résultats concernant les effets comparés des fumures minérales et organiques. *Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive. Tome 2 : 1411-1428.*

DUXBURY J.M., SMITH M.S., DORAN J.W., 1989. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In "Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems". Chap.2, COLEMAN D.C., OADES J.M., UEHRA G. Eds, NIFTAL Project, Univ. Hawaiï, 249 p.

ELUSTONDO J., ANGERS D.A., LAVERDIERE M.R., N'DAYEGAMIYE A., 1990. Etude comparative de l'agrégation et de la matière organique associée aux fractions granulométriques de sept sols sous culture de maïs ou en prairie. *Can.J.Soil Sci.,70 : 395-402.*

FAUCK R., MOUREAUX C., THOMANN C., 1969. Bilan de l'évolution des sols de Séfa(Sénégal)après quinze années de culture continue. *Agron.Trop., 24, 3 : 263-301.*

FELLER C., 1977. Evolution des sols de défriche récente dans la région des Terres Neuves (Sénégal Oriental). 2ème partie : aspects biologiques et caractéristiques de la matière organique. *Cah.ORSTOM, sér.Pédol., 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., GANRY F., CHEVAL M., 1981. Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agrosystème tropical. I : Influence d'une fertilisation azotée (urée) et d'un amendement organique (compost) sur la répartition du carbone et de l'azote dans différents compartiments d'un sol sableux. *L'Agron.Trop.*, 36 (1) : 9-17.

FELLER C., BERNHART-REVERSAT F., GARCIA J.L., PANTIER J.J., ROUSSOS S., VANVLIET-LANOE B., 1983. Etude de la matière organique de différentes fractions granulométriques d'un sol sableux tropical. Effet d'un amendement organique (compost). *Cah.ORSTOM, sér.Pédol.*, 20 : 223-238.

FELLER C., CHOPART J.L., DANCETTE F., 1987. Effet de divers modes de restitution de pailles de mil sur le niveau et la nature du stock organique dans deux sols sableux tropicaux (Sénégal). *Cah. ORSTOM, sér.Pédol.*, 23 (4) : 237-252.

FELLER C., 1988. Effet de différents systèmes de culture sur les stocks organiques de sols argileux tropicaux des Petilles Antilles. *Cah. ORSTOM , sér.Pédol.*, 24 (4) : 341-343.

FELLER C., FRITSCH E., POSS R., VALENTIN C., 1991. Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques (Afrique de l'Ouest, en particulier). *Cah.ORSTOM, sér.Pédol.*, 26 (1) : 25-36.

FRANCOIS C, 1988. Devenir à court terme de différentes formes d'azote (urée, végétaux, sol) dans un ferrisol (Martinique). Caractérisation de N-organique par fractionnement granulométrique. Etude avec ^{15}N . *Thèse doctorat Univ Nancy I, 135p. et annexes.*

GROUZIS M., 1987. Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso). *Thèse doctorat d'état, Université Paris Sud, Centre d'Orsay.*

GANRY F., 1973. Le problème de la date de semis du mil (*Pennisetum Typhoides*) en zone tropicale. *Sols Africains, 17 (1) : 59-63.*

GANRY F., GUIRAUD G., 1974. Efficacité de l'engrais azoté en année sèche à Bambey : rôle de la matière organique. *Bambey, ISRA-IRAT, 40 p.*

GANRY F., 1977. Etude en microlysimètres de la décomposition de plusieurs types de résidus de récolte dans un sol sableux tropical. *L'Agron.Trop., 32 (1) : 51-65.*

GANRY F., ROGER P., DOMMERGUES Y., 1978. A propos de l'enfouissement de pailles dans les sols sableux tropicaux du Sénégal. *C.R. Séance Acad. Agric. Fr., 15 mars 1978, 445-454.*

GANRY F., 1990. Application de la méthode isotopique à l'étude des bilans azotés en zone tropicale sèche. *Thèse doctorat d'Etat. Sciences naturelles, Université Nancy I, 355 p.*

GANRY F., 1991. Valorisation des résidus organiques à la ferme et maintien de la fertilité du sol. Un itinéraire technique progressif appliqué à la culture de maïs au sud Sénégal. *In : Savanes d'Afrique, terres fertiles ? Montpellier, France, 10-14 décembre 1990, 317-330.*

GIGOU J., DUBERNARD J., 1979. Etude du devenir de l'azote apporté par les engrais sur une culture de sorgho au Nord Cameroun. *In : Isotopes and radiations in research on soil-plant relationships, Colombo, Sri-Lanka, 11-15 Déc. 1978, Vienna, IAEA, 49-65.*

GIGOU J., 1980. Effects of straw application on the fertilizer needs of a sorghum-coton rotation in North-Cameroon. *In : Organic recycling in Africa, colloquium FAO-SIDA, BUEA, Cameroon, 1977, 186-191. ROMA, FAO (Soil Bull n°43).*

GUINKO S., 1984. Végétation de la Haute Volta. *Thèse doctorat d'état., Univ. Bordeaux III, 318 p.*

GIGOU J., 1982. Dynamique de l'azote minéral en sol nu ou cultivé de région tropicale sèche du Nord Cameroun. *Thèse docteur-ingénieur, Univ. des Sc. et Techn. du Languedoc, Montpellier, 171 p.*

GODEFROY J., JACQUIN F., 1975. Relation entre la stabilité structurale des sols cultivés et les apports organiques en conditions tropicales ; comparaison avec les sols forestiers. *Fruits, 30 (10) : 595-61.*

GUPTA S. R., GERMIDA J. J., 1989. Composition and activity of soil microbial biomass as affected by cultivation. *Agronomy abstracts. Soil science society of America. Las Vegas, Nevada.*

HENIN S., TURC C., 1950. Essai de fractionnement des matières organiques du sol. *Trans. 4th. Int. Congr., Soil Sci.1 : 152-154.*

HENIN S., MONNIER G., TURC L., 1959. Un aspect de la dynamique des matières organiques du sol. *C.R. Acad. Sci. Paris, 248 : 138-141.*

HIEN V., BELEM %, BERGER M., RICHARD L., 1984. Aspect général de l'évolution de la fertilité des sols burkinabè en culture continue. *Notes et Documents burkinabè*, 15 (4) : 18-24.

HIEN V., 1990. Pratiques culturales et évolution de la teneur en azote organique utilisable par les cultures dans un sol ferrallitique du Burkina Faso. *Thèse de docteur de l'Inst. Nat. Poly. de Lorraine*. 135 p. et annexes.

HIEN V., TRAORE OU., SANON K., 1991. Rapport d'activités du volet expérimentation du projet Engrais Vivriers. Campagne 1990. INERA/CNRST-Burkina Faso, 24 p.

INSD, 1986. Recensement général de la population, du 10-20 décembre 1985. Résultats provisoires. 10 p. et annexes.

JENKINSON D.S., 1966. Studies on the decomposition of plant material in soil. II-Partial sterilization of and the soil biomass. *J. Soil Sci.*, 17 (2) : 280-302.

JENKINSON D.S., POWLSON D.S., 1976a. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. I-Fumigation with chloroform. *Soil Biol. and Biochem.*, 8 : 167-177.

JENKINSON D.S., POWLSON D.S., 1976b. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. II-A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. and Biochem.*, 8 : 209-213.

JENKINSON D.S., POWLSON D.S., 1980. Measurements of microbial biomass in intact soil cores and in sieved. *Soil Biol. and Biochem.*, 12 : 579-581.

JENKINSON D.S., 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. IV-The decomposition of fumigated organisms *in soil*. *Soil Biol. and Biochem.* 8 : 203-208.

JENKINSON D.S., 1977. Studies on the decomposition of plant material in soil. IV.The effect of rate of addition. *J.Soil Sc.* 28 : 417-423.

JENKINSON D.S., LADD J.N., 1981. Microbial biomass in soil : measurement and turnover. *Soil Biochem.*, 5 : 415-471. Paul and Ladd, Ed.M.Dekker N.Y.

JOUVE P., 1990. L'analyse agronomique des situations culturales. Actes des journées de la DRN. Montpellier, 12-15 Sept. 1989. Editeur IRAT-Montpellier :127-135.

JUNG G., 1970. Variations saisonnières des caractéristiques microbiologiques d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé (Dior), soumis ou non à l'influence d'*Acacia albida* (Del). *Col. Plant. Gauthiers-Villars* : 113-136.

KALOGA B., 1968. Etude pédologique de la Haute Volta. Région Centre Sud. ORTOM, Centre de Dakar-Hann.

KALOGA B., 1970. Etude pédologique des bassins versants des voltas blanche et rouge. Troisième partie:sols associés aux vertisols : sols bruns eutrophes et sols halomorphes. *Cah. ORSTOM, sér.Pédol.*, 8(2).

KANAZAWA S., 1979. Studies on the plant debris in rice paddy soils. 1-Morphological observation and numbers of microbes in fractionated plough layer of paddy soils. *Soil Sci.Plant Nutr.*, 25 : 59-69.

LAVILLE-TIMSIT L., LECOMTE P., 1989. Approche géologique et altérologique régionale de Saria (Burkina Faso) et de Molobala (Mali). *Rapport BRGM n°89 AFO OU1 GEO.*

LEFEVRE G., HIROUX G., YVART B., 1981. Effets des apports organiques et minéraux sur le comportement de l'azote dans le sol. *Bull. AFES, Science du Sol, 1 : 31-54.*

LOMPO F., 1983. Problématique de la matière organique dans la zone du Plateau Mossi. Etude de la disponibilité en résidus cultureux et de leurs modes de transformation (Station Agronomique de Saria). *Mémoire d'ingénieur du développement rural, ISP, Ouagadougou, 108 p.*

LOMPO F., 1993. Contribution à la valorisation des phosphates naturels du Burkina Faso : Etudes des effets de l'interaction phosphates naturels-matières organiques. *Thèse de docteur-ingénieur. Université Nationale de Côte d'Ivoire, 247 p.*

MARTIN A., MARIOTTI A., BALESSENT J., LAVELLE P., VUATTOUX R., 1990. Estimate of organic matter turnover rate in a savanna soil by ¹³C natural abundance measurements. *Soil Biol.and Biochem., 22 : 517-523.*

MARY B., REMY J.C., 1979. Essai d'appréciation de la capacité de minéralisation de l'azote des sols de -Signification des cinétiques de minéralisation de la matière organique humifiée. *Ann. Agron. 30(6) : 513-527.*

MONNIER G., TURC L., JEANSON-LUUSINANG C., 1962. Une méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol. *Ann. Agron., 13(1) : 55-63.*

MOREAU R., 1984-1985. Etude sur parcelles comparatives de l'évolution des sols ferrallitiques sous différents modes de mise en culture en zone forestière et préforestière de Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM, sér.Pédol.*, 21(1) : 43-56.

NIANE BADIANE A., 1993. Le statut organique d'un sol sableux de la zone Centre-Nord du Sénégal. *Thèse de docteur de l'Institut National Polytechnique de Lorraine*, 200 p.

NICOLARDOT B., CHAUSSOD R., CATROUX G., 1984. Décomposition de corps microbiens dans des sols fumigés au chloroforme: effets du type de sol et de microorganisme. *Soil Biol. Biochem.*, 16(5) : 453-458.

NICOLARDOT B., GUIRAUD G., CHAUSSOD R., CATROUX G., 1986. Minéralisation dans le sol de matériaux microbiens marqués au carbone 14 et à l'azote 15 : quantification de l'azote de la biomasse microbienne. *Soil Biol.and Biochem.*, 18(3) : 263-273.

OUATTARA B., 1991. Etude des effets de substrats organiques sur les propriétés physico-chimiques d'un sol ferrugineux tropical du Burkina Faso. *Mémoire de D.E.A. d'écologie tropicale, Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Nationale de Côte d'Ivoire*, 62 p.

PALLO F.J.P., THIOMBIANO L., 1989. "Les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions du Burkina Faso : caractéristiques et contraintes pour l'utilisation agricole". *SOLTROP 1989*, 307-324.

PERON Y., ZALACAIN V., 1975. Atlas de la Haute Volta. *In : Les Atlas Jeune Afrique. Ed.J.A., Paris.*

PICHOT J., ROCHE P., 1972. Le phosphore dans les sols tropicaux. *L'Agron.Trop.* 27.

PICHOT J., 1978. Rôle de la matière organique dans la fertilité des sols. *L'Agron.Trop.*,30 (2) : 170-174.

PICHOT J., SEDOGO M.P., POULAIN J.F., ARRIVETS J., 1981. Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence de fumures minérales et organiques. *L'Agron.Trop.*, 36(2) : 122-133.

PIERI C., 1974. Premiers résultats expérimentaux sur la sensibilité de l'arachide à la toxicité aluminique. *L'Agron.Trop.*, 29(6-7): 685-696.

PIERI C., 1976a. L'acidification d'un sol Dior cultivé du Sénégal et ses conséquences agronomiques. *L'Agron. Trop.*, 31(3) : 245-253.

PIERI C., 1976b. L'acidification des terres de culture exondées au Sénégal. *L'Agron.Trop.*, 31(4) : 339-368.

PIERI C., 1985. Bilans minéraux des systèmes de culture pluviales en zones arides et semi-arides. *L'Agron. Trop.*, 40 (1) : 1-19.

PIERI C., 1986. Fertilisation des cultures vivrières et fertilité des sols en agriculture paysanne subsaharienne. *L'Agron. Trop.*, 41 (1) : 1-19.

PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au Sud du Sahara. *Ministère de la coopération et CIRAD-IRAT, Paris. La Documentation Française, 444p.*

PIERI C., 1991. Les bases agronomiques de l'amélioration et du maintien de la fertilité des terres de savanes au sud du Sahara. *In Actes des Rencontres internationales, "Savanes d'Afrique, terres fertiles ? " 10-14 décembre 1990, Montpellier : 43-73.*

POULAIN J.F., 1977. Les résidus de culture dans les systèmes culturaux traditionnels de l'Afrique de l'Ouest. Effets sur le bilan minéral et le statut organique des sols. Proposition pour une meilleure gestion, *Doc. multigr., IRAT-Haute Volta, 52p.*

POWLSON D. S., BROOKES %, CHRISTENSEN B.T., 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biol. Biochem. 19 : 159-164.*

ROOSE E.J., 1979. Dynamique actuelle de deux sols ferrugineux tropicaux indurés sous sorgho et sous savane soudano-sahélienne. Saria (Haute Volta) : synthèse des campagnes 1971-1974. *ORSTOM-Paris. 123p.*

ROOSE E.J., 1980. Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matière sous végétations naturelles ou cultivées. *Thèse doct. ès-sciences, Univ. Orléans, ORSTOM, Paris, Travaux et Documents de l'ORSTOM, n°130. 578p.*

ROSS D.J., TATE K.R., CAIRNS A., MEYRICK K.F., 1980a. Influence of storage in soil microbial biomass estimated by three biochemical procedures. *Soil Biol. and Biochem., 12 : 369-374.*

ROSS D.J., TATE K.R., CAIRNS A., PANSIER E.A., 1980b. Microbial biomass estimations in soils from tussock grasslands by three biochemical procedures. *Soil Biol. and Biochem., 12 : 375-383.*

ROSS D.J., TATE K.R., 1984. Microbial biomass in soil : effects of some experimental variables on biochemical estimations. *Soil Biol. Biochem., 16 (2) : 161-167.*

SAMAKE F., 1987. Contribution à la valorisation du phosphate naturel de Tilemsi (Mali) par l'action d'acides minéraux et de composés organiques humifiés. Thèse doct.ing., INPL Nancy, 198p.

SARR P.L., 1981. Analyse des effets induits par l'intensification des cultures sur quelques caractéristiques physico-chimiques d'un sol ferrugineux tropical du Sénégal(Nioro-Du-Rip). *Thèse doctorat 3ème cycle, Agro-Pédo, Univ. des Sci. et Tech. du Languedoc, Montpellier, 100p.*

SEDGA Z., 1991. Contribution à la valorisation agricole des résidus de culture dans le Plateau Central du Burkina Faso. Inventaire des disponibilités en matière organique et étude des effets de l'inoculum Micro 110 IBF dans la pratique du compostage. *Mémoire de fin d'études. Inst. Polytech. Rural de Katibougou, Mali, 100 p.*

SEDOGO M.P., 1981. Contribution à la valorisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride (matière organique du sol et nutrition azotée des cultures). *Thèse doct-ing., sciences agronomiques, INPL Nancy, 198 p.*

SEDOGO M.P., 1993. Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture: incidence des modes de gestion sur la fertilité. *Thèse doctorat ès-sciences, Univ. Nat. de Côte d'Ivoire, 333p.*

SHEN S.M., PRUDEN G., JENKINSON D.S., 1984. Mineralization and immobilisation of nitrogen in fumigated soil and the measurement of microbial biomass nitrogen. *Soil Biol.and Biochem., 16 (5) : 437-444.*

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

SOME L., 1989. Diagnostic agropédoclimatique du risque de sécheresse au Burkina Faso. Etude de quelques techniques agronomiques améliorant la résistance pour les cultures de sorgho, de mil et de maïs. *Thèse de docteur de l'Univ. de Montpellier, 312p.*

SORENSEN L.H., 1977. Factors affecting the biostability of metabolic materials in soils. *Soil Organic Matter Studies, Vienna, 2 : 3-14.*

TIESSEN H. and STEWARD J.W.B., 1983. Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter. II- Cultivation effects on organic matter composition in size fraction. *Soil Sci.Soc.Am.J., 47 : 509-514.*

TRIBOI E., 1990. Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre (*Triticum aestivum* em Thell. *Agronomie 10 : 191-200*

TRUONG B., PICHOT J., BEUNARD P., 1978. Caractérisation et comparaison des phosphates naturels tricalciques d'Afrique de l'Ouest en vue de leur utilisation directe en agriculture. *L'Agron.Trop., 33(2) : 136-145.*

TRUONG B., BEUNARD P., DIELOLA K., PICHOT J., 1982. Caractérisation et comparaison des phosphates naturels de Madagascar en vue de leur utilisation directe en agriculture. *L'Agron. Trop., 37(3) : 288-294.*

TRUONG B., 1984. Etude des phosphates naturels partiellement attaqués : Haute Volta et Togo. *Rapport IRAT, 20p.*

TRUONG B., FAYARD C., 1987. Proposition d'une filière d'engrais au Burkina Faso, à base de phosphate naturel de Kodjari, partiellement solubilisé. *Rapport IRAT/DRN, n° 2, 90p.*

VALENTIN C., 1989. Les états de surface des savanes de l'Ouest africain : relations avec les sols et incidences sur l'économie en eau. *In* : Soltrop 89. Actes du 1er séminaire franco-africain de pédologie tropicale, Lomé, Togo, 6-12 février 1989. Paris, Coll. *Colloques et séminaires ORSTOM* : 243-252.

VONG P. C., 1987. Contribution à l'étude cinétique des différents compartiments azotés contenus dans des sols cultivés après apports de fertilisants minéraux et organiques. *Thèse doctorat d'état ès Sci. Naturelles., Inst. Nat. Poly. Lorraine. 217p.*

VORONEY R. P., PAUL E.A., 1984. Determination of K_c and K_n *in situ* for calibration of the chloroform fumigation-incubation method. *Soil Biol. Biochem.*, 16 : 9-14.

WASTON J.R., PARSONS J.W., 1974. Studies of soil organo-mineral fractions. I. Isolation by ultrasonic dispersion. *J. Soil Sci.*, 25 : 1-8.

WEY J., SIBAND P., OLIVER R., EGOUMENIDES C., GANRY F., 1987. Essai de régénération d'un sol de la zone arachidière du Centre-Nord du Sénégal. *L'Agron. Trop.*, 42 (4) : 258-267.

WOODS L. S., SCHUMANN G.E., 1988. Cultivation and slope position effects on soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52 : 1371-1376.

ANNEXES

Annexe 1. pluviométrie pentadaire de la station de saria de l'année 1990. hauteur d'eau en millimètres.

Période	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Octobre
1ère pentade	0,0	20,0	15,1	17,0	3,0	8,0
2ème pentade	31,0	1,0	9,5	38,0	6,7	0,0
3ème pentade	0,0	19,5	38,0	70,0	43,0	0,0
4ème pentade	1,0	8,7	25,6	68,2	17,0	0,0
5ème pentade	24,0	18,0	39,6	11,0	0,0	0,0
6ème pentade	8,7	6,0	38,8	15,5	10,2	0,0
TOTAL	64,7	73,2	166,6	220,4	79,9	8,0

Annexe 2 : Quantités de C-CO₂ dégagé par jour en mg C-CO₂/100g de sol /jour

	PAW	PAW	GE	GE	BAG	BAG	ER	ER	ETW	ETW	WE	WE
	NF	F	NF	F	NF	F	NF	F	NF	F	NF	F
	3ans	3ans	5ans	5ans	60ans	60 ans	72ans	72 ans	80ans	80 ans	50+MO	50+MO
J1	0,56	4,82	0,38	3,50	0,42	1,98	0,40	1,96	0,40	2,48	0,46	2,94
J2	0,46	1,88	0,32	2,22	0,24	0,88	0,28	1,46	0,32	1,52	0,44	2,32
J3	0,28	0,88	0,24	0,84	0,22	1,10	0,22	0,78	0,34	0,60	0,28	0,96
J4	0,44	0,94	0,20	0,58	0,24	0,74	0,18	0,58	0,18	0,42	0,24	0,70
J5	0,40	0,94	0,20	0,64	0,26	0,74	0,26	0,60	0,24	0,48	0,26	0,62
J6	0,30	0,78	0,24	0,52	0,20	0,56	0,25	0,58	0,19	0,40	0,26	0,56
J7	0,20	0,66	0,20	0,48	0,12	0,36	0,22	0,40	0,12	0,28	0,28	0,51
J8	0,33	0,65	0,21	0,43	0,16	0,37	0,21	0,37	0,17	0,29	0,26	0,44
J9	0,33	0,65	0,21	0,43	0,16	0,37	0,21	0,37	0,17	0,29	0,26	0,44
J10	0,24	0,44	0,20	0,38	0,19	0,26	0,19	0,25	0,17	0,23	0,24	0,32
J11	0,24	0,44	0,20	0,38	0,19	0,26	0,19	0,25	0,17	0,23	0,24	0,32
J12	0,26	0,42	0,26	0,40	0,14	0,23	0,16	0,25	0,18	0,21	0,25	0,25
J13	0,26	0,42	0,26	0,40	0,14	0,23	0,16	0,25	0,18	0,21	0,25	0,25
J14	0,27	0,39	0,23	0,39	0,14	0,19	0,21	0,27	0,18	0,24	0,30	0,36
J15	0,27	0,39	0,23	0,39	0,14	0,19	0,21	0,27	0,18	0,24	0,30	0,36
J16	0,25	0,30	0,20	0,37	0,12	0,18	0,17	0,25	0,16	0,23	0,25	0,28
J17	0,25	0,30	0,20	0,37	0,12	0,18	0,17	0,25	0,16	0,23	0,25	0,28
J18	0,19	0,25	0,20	0,27	0,09	0,14	0,21	0,22	0,16	0,18	0,25	0,28
J19	0,19	0,25	0,20	0,27	0,09	0,14	0,21	0,22	0,16	0,18	0,25	0,28
J20	0,19	0,22	0,15	0,24	0,08	0,10	0,13	0,20	0,13	0,12	0,18	0,23
J21	0,19	0,22	0,15	0,24	0,08	0,10	0,13	0,20	0,13	0,12	0,18	0,23
cumul	6,1	16,24	4,68	13,74	3,54	9,3	4,37	9,98	4,09	9,18	5,68	12,93

NF = sol non fumigé ; F = sol fumigé

Annexe 3 :_Quantités cumulées de C-CO₂ dégagé (en mg C-CO₂/100g de sol/jour) :

date	Sol non fumigé					Sol fumigé				
	1 PAW	2 GE	3 ER	4 WE	5 BAG	1 PAW	2 GE	3 ER	4 WE	5 BAG
J1	0,56	0,38	0,4	0,46	0,42	4,82	3,5	1,96	2,94	1,98
J2	1,02	0,7	0,68	0,9	0,66	6,7	5,72	3,42	5,26	2,86
J3	1,3	0,94	0,9	1,18	0,88	7,58	6,56	4,2	6,22	3,96
J4	1,74	1,14	1,08	1,42	1,12	8,52	7,14	4,78	6,92	4,7
J5	2,14	1,34	1,34	1,68	1,38	9,46	7,78	5,38	7,54	5,44
J6	2,44	1,58	1,59	1,94	1,58	10,24	8,3	5,96	8,1	6
J7	2,64	1,78	1,81	2,22	1,7	10,9	8,78	6,36	8,61	6,36
J8	2,97	1,99	2,02	2,48	1,86	11,55	9,21	6,73	9,05	6,73
J9	3,3	2,2	2,23	2,74	2,02	12,2	9,64	7,1	9,49	7,1
J10	3,54	2,4	2,42	2,98	2,21	12,64	10,02	7,35	9,81	7,36
J11	3,78	2,6	2,61	3,22	2,4	13,08	10,4	7,6	10,13	7,62
J12	4,04	2,86	2,77	3,47	2,54	13,5	10,8	7,85	10,38	7,85
J13	4,3	3,12	2,93	3,72	2,68	13,92	11,2	8,1	10,63	8,08
J14	4,57	3,35	3,14	4,02	2,82	14,31	11,59	8,37	10,99	8,27
J15	4,84	3,58	3,35	4,32	2,96	14,7	11,98	8,64	11,35	8,46
J16	5,09	3,78	3,52	4,57	3,08	15	12,35	8,89	11,63	8,64
J17	5,34	3,98	3,69	4,82	3,2	15,3	12,72	9,14	11,91	8,82
J18	5,53	4,18	3,9	5,07	3,29	15,55	12,99	9,36	12,19	8,96
J19	5,72	4,38	4,11	5,32	3,38	15,8	13,26	9,58	12,47	9,1
J20	5,91	4,53	4,24	5,5	3,46	16,02	13,5	9,78	12,7	9,2
J21	6,1	4,68	4,37	5,68	3,54	16,24	13,74	9,98	12,93	9,3

Annexe 4 : analyses physiques et chimiques des sols

champ	code	UGM	EG (%)	C	MO	N	P. total	P. assim	C/N	pH _{eau}	pH _{kcl}	A+Lf+Lg	SF	SG
1	mou	HV	67	7,72	13,28	498	850	0,48	15	6,45	6,04	39,31	28,01	32,68
2	an	HV	58	8,11	13,95	616	870	0,63	13	6,71	6,08	40,50	25,14	34,36
3	sin	HV	48	8,07	13,88	622	925	0,55	13	6,71	6,32	40,56	29,94	29,50
4	yem	HV	56	10,50	18,06	756	1100	0,64	14	6,48	6,24	47,10	26,63	26,27
5	etw	HV	46	4,50	7,74	336	548	0,45	13	6,43	5,33	32,90	17,54	48,56
6	ets	HV	60	5,69	9,79	442	950	0,62	13	6,18	4,38	35,77	20,35	43,88
7	al	HV	54	6,84	11,76	493	950	0,28	14	6,82	6,15	36,99	14,56	48,45
8	ws	HV	37	6,63	11,40	543	1425	0,30	12	6,40	5,11	37,88	18,71	43,41
9	etn	HV	56	6,64	11,42	504	1060	1,10	13	5,80	4,34	41,62	16,97	41,41
10	yn	BV	24	5,76	9,91	594	873	0,60	10	6,68	5,63	26,80	32,97	40,23
11	we	BV	21	5,71	9,82	414	750	0,84	14	6,68	5,64	28,34	32,14	39,52
12	bag	BV	12	5,34	9,18	353	750	0,90	15	6,12	5,47	31,71	25,39	42,90
13	raw	BV	29	5,00	8,60	375	673	0,31	13	6,51	5,98	32,08	17,86	50,06
14	ww	BV	39	5,69	9,79	442	898	0,85	13	7,20	6,34	33,10	31,34	35,56
15	er	BV	23	4,86	8,36	336	698	0,37	14	6,61	5,80	34,63	16,31	49,06
16	yv	BV	10	4,86	8,36	291	523	0,33	17	6,58	4,94	37,10	17,46	45,44
17	rs	BV	6	4,67	8,03	375	800	0,32	12	6,47	5,00	43,20	31,17	25,63
18	sob	BV	29	6,17	10,61	526	975	0,48	12	6,17	5,93	46,62	27,39	25,99
19	in	BV	3	6,17	10,61	437	1125	0,19	14	6,65	5,25	60,03	24,71	15,26
20	ys	BV	21	2,91	5,01	308	750	0,20	10	6,55	4,88	28,62	31,21	40,17
21	bom	BV	24	2,63	4,52	207	473	0,42	12	5,00	4,31	29,76	15,58	54,66
22	rae	BV	18	3,53	6,07	258	423	0,35	13	6,00	4,98	34,17	12,63	53,20
23	rn	BV	6	4,21	7,24	386	825	0,30	11	5,83	4,48	43,16	30,64	26,20
24	is	BV	2	4,74	8,15	437	950	0,31	11	6,75	5,64	58,60	21,03	20,37
25	ge	BV	7	4,65	8,00	308	498	0,30	15	5,50	4,86	32,52	22,66	44,82
26	paw	BV	26	6,17	10,61	442	750	0,26	14	5,85	5,24	39,81	16,06	44,13

Annexe 5 : Analyses physiques et chimiques des sols (suite)

champ	code	UGM	GMO	EG	C	MO	CEC	Ca	Mg	K	SB	ETS
1	mou	HV	FO	67	7,72	13,28	6,10	2,22	0,68	0,20	3,10	51
2	an	HV	FO	58	8,11	13,95	5,20	1,87	0,52	0,18	2,57	49
3	sin	HV	FO	48	8,07	13,88	2,60	0,87	0,30	0,14	1,31	50
4	yem	HV	FO	56	10,50	18,06	6,20	3,76	0,63	0,22	4,61	74
7	al	HV	FO	54	6,84	11,76	3,25	1,86	0,38	0,14	2,38	73
8	ws	HV	FO	37	6,63	11,40	6,30	1,72	0,43	0,08	2,23	35
10	yn	BV	FO	24	5,76	9,91	5,60	2,59	0,67	0,24	3,50	63
11	we	BV	FO	21	5,71	9,82	4,60	1,81	0,34	0,18	2,33	51
12	bag	BV	FO	12	5,34	9,18	6,40	2,08	0,32	0,08	2,48	39
13	raw	BV	FO	29	5,00	8,60	3,62	1,31	0,31	0,10	1,72	48
14	ww	BV	FO	39	5,69	9,79	4,80	1,81	0,33	0,20	2,34	49
15	er	BV	FO	23	4,86	8,36	2,39	0,97	0,23	0,10	1,30	54
16	yv	BV	FO	10	4,86	8,36	2,22	0,77	0,22	0,06	1,05	47
17	rs	BV	FO	6	4,67	8,03	3,60	1,38	0,37	0,20	1,95	54
18	sob	BV	FO	29	6,17	10,61	4,00	2,07	0,46	0,14	2,67	67
19	in	BV	FO	3	6,17	10,61	7,10	3,18	0,64	0,08	3,90	55
5	etw	HV	T	46	4,50	7,74	2,99	0,82	0,19	0,10	1,10	37
6	ets	HV	T	60	5,69	9,79	2,75	1,14	0,26	0,10	1,50	55
9	etn	HV	T	56	6,64	11,42	2,18	1,35	0,27	0,10	1,72	79
20	ys	BV	T	21	2,91	5,01	4,20	1,22	0,25	0,12	1,59	38
21	bom	BV	T	24	2,63	4,52	2,34	0,65	0,08	0,06	0,79	34
22	rae	BV	T	18	3,53	6,07	2,64	1,11	0,24	0,06	1,41	53
23	rn	BV	T	6	4,21	7,24	5,10	1,03	0,37	0,16	1,56	31
24	is	BV	T	2	4,74	8,15	7,10	3,18	0,64	0,08	3,90	55
25	ge	BV	T	7	4,65	8,00	2,86	1,04	0,29	0,06	1,39	49
26	paw	BV	T	26	6,17	10,61	2,00	0,74	0,27	0,08	1,09	55

UGM : unité géomorphologique ; GMO : gestion de la matière organique (T = témoin sans fumure organique ; FO = champ avec fumure organique) ; EG : éléments grossiers en % ; TS : taux de saturation en bases échangeables ; BV = bas de versant ; HV = Haut de versant ; EG = éléments grossiers en %

Annexe 6 : Fractionnement granulométrique de la matière organique

		mgC/g fractions	mgC/g fractions	mgC/g fractions	mgC/g sols	mgC/g sols	mgC/g sols	En % du total de C	En % du total de C	En % du total de C
champ	code	FOMfract	F50fract	F200fract	FOMSol	F50sol	F200sol	FOMpc	F50pc	F200pc
1	mou	13,54	4,98	3,83	4,68	1,49	1,38	61,99	19,73	18,28
2	an	13,07	5,98	5,36	4,32	1,67	2,06	53,66	20,75	25,59
3	sin	13,54	3,99	5,55	4,84	1,27	1,78	61,34	16,10	22,56
4	yem	17,95	5,59	4,79	5,87	1,69	1,75	63,05	18,15	18,80
5	etw	8,87	2,49	2,10	2,93	0,44	1,03	66,59	10,00	23,41
6	ets	10,74	3,49	2,87	3,65	0,56	1,40	65,06	9,98	24,96
7	al	12,60	5,98	2,68	4,56	0,96	1,27	67,16	14,14	18,70
8	ws	11,56	4,97	2,33	4,13	1,10	0,97	66,61	17,74	15,65
9	etn	11,20	4,98	3,45	4,05	1,10	1,41	61,74	16,77	21,49
10	yn	17,56	3,99	0,78	4,16	0,79	0,44	77,18	14,66	8,16
11	we	16,39	3,99	2,29	3,23	1,05	1,22	58,73	19,09	22,18
12	bag	9,53	2,99	1,55	2,88	0,79	0,66	66,51	18,24	15,24
13	raw	10,74	4,98	1,91	2,83	0,93	1,04	58,96	19,37	21,67
14	ww	12,60	2,49	2,68	3,70	1,07	0,70	67,64	19,56	12,80
15	er	8,53	3,99	1,94	2,67	0,74	0,97	60,96	16,89	22,15
16	yv	9,53	2,99	1,36	3,59	0,54	0,60	75,90	11,42	12,68
17	rs	9,80	2,49	1,72	3,04	0,95	0,51	67,56	21,11	11,33
18	sob	11,80	3,49	3,45	3,79	1,38	0,94	62,03	22,59	15,38
19	in	8,30	3,99	2,87	4,43	1,25	0,41	72,74	20,53	6,73
20	ys	6,52	1,00	0,97	1,80	0,34	0,36	72,00	13,60	14,40
21	bom	7,07	1,50	0,76	1,91	0,25	0,43	73,75	9,65	16,60
22	rae	7,00	3,49	1,14	2,26	0,47	0,61	67,66	14,07	18,26
23	rn	7,94	1,50	2,10	2,96	0,65	0,41	73,82	16,20	9,98
24	is	6,32	2,49	2,50	3,43	0,65	0,48	75,22	14,25	10,53
25	ge	11,48	1,99	1,34	3,32	0,48	0,62	75,11	10,86	14,03
26	paw	13,97	5,99	1,20	3,84	0,98	0,67	70,00	17,80	12,20

Annexe 5 : Analyses physiques et chimiques des sols (suite)

champ	code	UGM	GMO	EG	C	MO	CEC	Ca	Mg	K	SBETS	
1	mou	HV	FO	67	7,72	13,28	6,10	2,22	0,68	0,20	3,10	51
2	an	HV	FO	58	8,11	13,95	5,20	1,87	0,52	0,18	2,57	49
3	sin	HV	FO	48	8,07	13,88	2,60	0,87	0,30	0,14	1,31	50
4	yem	HV	FO	56	10,50	18,06	6,20	3,76	0,63	0,22	4,61	74
7	al	HV	FO	54	6,84	11,76	3,25	1,86	0,38	0,14	2,38	73
8	ws	HV	FO	37	6,63	11,40	6,30	1,72	0,43	0,08	2,23	35
10	yn	BV	FO	24	5,76	9,91	5,60	2,59	0,67	0,24	3,50	63
11	we	BV	FO	21	5,71	9,82	4,60	1,81	0,34	0,18	2,33	51
12	bag	BV	FO	12	5,34	9,18	6,40	2,08	0,32	0,08	2,48	39
13	raw	BV	FO	29	5,00	8,60	3,62	1,31	0,31	0,10	1,72	48
14	ww	BV	FO	39	5,69	9,79	4,80	1,81	0,33	0,20	2,34	49
15	er	BV	FO	23	4,86	8,36	2,39	0,97	0,23	0,10	1,30	54
16	yv	BV	FO	10	4,86	8,36	2,22	0,77	0,22	0,06	1,05	47
17	rs	BV	FO	6	4,67	8,03	3,60	1,38	0,37	0,20	1,95	54
18	sob	BV	FO	29	6,17	10,61	4,00	2,07	0,46	0,14	2,67	67
19	in	BV	FO	3	6,17	10,61	7,10	3,18	0,64	0,08	3,90	55
5	etw	HV	T	46	4,50	7,74	2,99	0,82	0,19	0,10	1,10	37
6	ets	HV	T	60	5,69	9,79	2,75	1,14	0,26	0,10	1,50	55
9	etn	HV	T	56	6,64	11,42	2,18	1,35	0,27	0,10	1,72	79
20	ys	BV	T	21	2,91	5,01	4,20	1,22	0,25	0,12	1,59	38
21	bom	BV	T	24	2,63	4,52	2,34	0,65	0,08	0,06	0,79	34
22	rae	BV	T	18	3,53	6,07	2,64	1,11	0,24	0,06	1,41	53
23	rn	BV	T	6	4,21	7,24	5,10	1,03	0,37	0,16	1,56	31
24	is	BV	T	2	4,74	8,15	7,10	3,18	0,64	0,08	3,90	55
25	ge	BV	T	7	4,65	8,00	2,86	1,04	0,29	0,06	1,39	49
26	paw	BV	T	26	6,17	10,61	2,00	0,74	0,27	0,08	1,09	55

UGM : unité géomorphologique ; GMO : gestion de la matière organique (T = témoin sans fumure organique ; FO = champ avec fumure organique) ; EG : éléments grossiers en % ; TS : taux de saturation en bases échangeables ; BV = bas de versant ; HV = Haut de versant ; EG = éléments grossiers en %

Annexe 6 : Fractionnement granulométrique de la matière organique

		mgC/g fractions	mgC/g fractions	mgC/g fractions	mgC/g sols	mgC/g sols	mgC/g sols	En % du total de C	En % du total de de C	En % du total de C
champ	code	FOMfract	F50fract	F200fract	FOMSol	F50sol	F200sol	FOMpc	F50pc	F200pc
1	mou	13,54	4,98	3,83	4,68	1,49	1,38	61,99	19,73	18,28
2	an	13,07	5,98	5,36	4,32	1,67	2,06	53,66	20,75	25,59
3	sin	13,54	3,99	5,55	4,84	1,27	1,78	61,34	16,10	22,56
4	yem	17,95	5,59	4,79	5,87	1,69	1,75	63,05	18,15	18,80
5	etw	8,87	2,49	2,10	2,93	0,44	1,03	66,59	10,00	23,41
6	ets	10,74	3,49	2,87	3,65	0,56	1,40	65,06	9,98	24,96
7	al	12,60	5,98	2,68	4,56	0,96	1,27	67,16	14,14	18,70
8	ws	11,56	4,97	2,33	4,13	1,10	0,97	66,61	17,74	15,65
9	etn	11,20	4,98	3,45	4,05	1,10	1,41	61,74	16,77	21,49
10	yn	17,56	3,99	0,78	4,16	0,79	0,44	77,18	14,66	8,16
11	we	16,39	3,99	2,29	3,23	1,05	1,22	58,73	19,09	22,18
12	bag	9,53	2,99	1,55	2,88	0,79	0,66	66,51	18,24	15,24
13	raw	10,74	4,98	1,91	2,83	0,93	1,04	58,96	19,37	21,67
14	ww	12,60	2,49	2,68	3,70	1,07	0,70	67,64	19,56	12,80
15	er	8,53	3,99	1,94	2,67	0,74	0,97	60,96	16,89	22,15
16	yv	9,53	2,99	1,36	3,59	0,54	0,60	75,90	11,42	12,68
17	rs	9,80	2,49	1,72	3,04	0,95	0,51	67,56	21,11	11,33
18	sob	11,80	3,49	3,45	3,79	1,38	0,94	62,03	22,59	15,38
19	in	8,30	3,99	2,87	4,43	1,25	0,41	72,74	20,53	6,73
20	ys	6,52	1,00	0,97	1,80	0,34	0,36	72,00	13,60	14,40
21	bom	7,07	1,50	0,76	1,91	0,25	0,43	73,75	9,65	16,60
22	rae	7,00	3,49	1,14	2,26	0,47	0,61	67,66	14,07	18,26
23	rn	7,94	1,50	2,10	2,96	0,65	0,41	73,82	16,20	9,98
24	is	6,32	2,49	2,50	3,43	0,65	0,48	75,22	14,25	10,53
25	ge	11,48	1,99	1,34	3,32	0,48	0,62	75,11	10,86	14,03
26	paw	13,97	5,99	1,20	3,84	0,98	0,67	70,00	17,80	12,20

Annexe 7 :Rendement et composantes du rendement

				mg	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	
champ	code	nbpanicles	nbGRAIN	P1G	GRAIN	PAILLE	BIOMASSE	Grain/Paille
1	mou	40950	1681	24,09	405	1750	2445	0,23
2	an	78950	1912	21,71	415	4100	4879	0,10
3	sin	63700	1607	24,27	390	1800	2390	0,22
4	yem	78400	3271	24,46	800	4600	5800	0,17
5	etw	26950	2361	22,24	525	1425	2110	0,37
6	ets	50300	2462	21,53	530	2025	2770	0,26
7	al	85550	3578	22,08	790	2725	3785	0,29
8	ws	47300	1452	20,82	305	1025	1510	0,30
9	etn	72750	3167	23,05	730	3150	4130	0,23
10	yn	46250	4897	25,32	1240	3650	5340	0,34
11	we	77650	3833	22,83	875	3750	5057	0,23
12	bag	50250	1247	21,25	265	1150	1655	0,23
13	raw	126000	3643	21,96	800	2575	3800	0,31
14	ww	24900	3590	24,65	885	3050	4275	0,29
15	er	68000	2951	24,57	725	2000	3000	0,36
16	yv	59000	2482	19,54	485	2325	3087	0,21
17	rs	65800	3461	22,25	770	3150	4350	0,24
18	sob	56900	4257	22,25	760	3650	4970	0,21
19	in	29050	2608	22,62	590	1575	2605	0,37
20	ys	42600	1362	20,92	285	725	1125	0,39
21	bom	42800	1552	20,29	315	800	1250	0,39
22	rae	84000	2779	21,77	605	1675	2537	0,36
23	rn	52500	1145	20,08	230	1050	1430	0,22
24	is	49350	2919	22,1	645	1900	2975	0,34
25	ge	105300	3578	20,82	745	2325	3420	0,32
26	paw	78650	4586	21,37	980	2775	4192	0,35

Annexe 8: Moyennes et écart-type

Variables	Moyenne	Ecart-type
Carbone	5,683	1,675
Azote total	434,577	124,177
Phosphore total	823,538	223,020
Argile +Lf+Lg	38,188	8,116
CEC	4,159	1,635
SBE	2,134	0,979
Nombre de Grain/m ²	2783,885	1049,702
P1G	22,263	1,503
Paille	2335,577	1047,643
GRAIN	618,846	246,874

Annexe 9 :Matrice de corrélation

Variable										
S	C	N	Pt	AL	CEC	SBE	NG	P1G	Paille	GRAIN
C	1	0,912	0,623	0,351	0,317	0,562	0,130	0,512	0,592	0,183
N	0,912	1	0,739	0,347	0,410	0,636	0,191	0,562	0,604	0,255
Pt	0,623	0,739	1	0,505	0,552	0,588	-0,022	0,296	0,198	0,017
AL	0,351	0,347	0,505	1	0,421	0,536	-0,013	0,040	0,093	-0,059
CEC	0,317	0,410	0,552	0,421	1	0,840	-0,184	0,200	0,025	-0,116
SBE	0,562	0,636	0,588	0,536	0,840	1	0,200	0,476	0,419	0,266
NG	0,130	0,191	-0,022	-0,013	-0,184	0,200	1	0,391	0,704	0,971
P1G	0,512	0,562	0,296	0,040	0,200	0,476	0,391	1	0,469	0,540
Paille	0,592	0,604	0,198	0,093	0,025	0,419	0,704	0,469	1	0,709
GR	0,183	0,255	0,017	-0,059	-0,116	0,266	0,971	0,540	0,709	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,050 (test bilatéral)

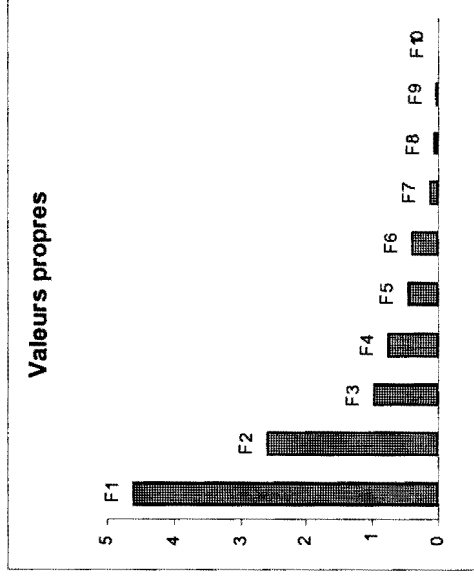
Conclusion :Au seuil de signification Alpha=0,050 on peut rejeter l'hypothèse nulle d'absence de corrélation significative entre les variables.

Autrement dit, la corrélation entre les variables est significative

Annexe 10: Valeurs propres

	Valeur propre	% variance	% cumulé
F1	4,596	45,961	45,961
F2	2,587	25,875	71,836
F3	0,975	9,748	81,584
F4	0,760	7,598	89,182
F5	0,466	4,658	93,840
F6	0,395	3,953	97,792
F7	0,109	1,091	98,883
F8	0,058	0,585	99,468
F9	0,042	0,421	99,889
F10	0,011	0,111	100,000

Annexe 11 : représentation graphique des valeurs propres



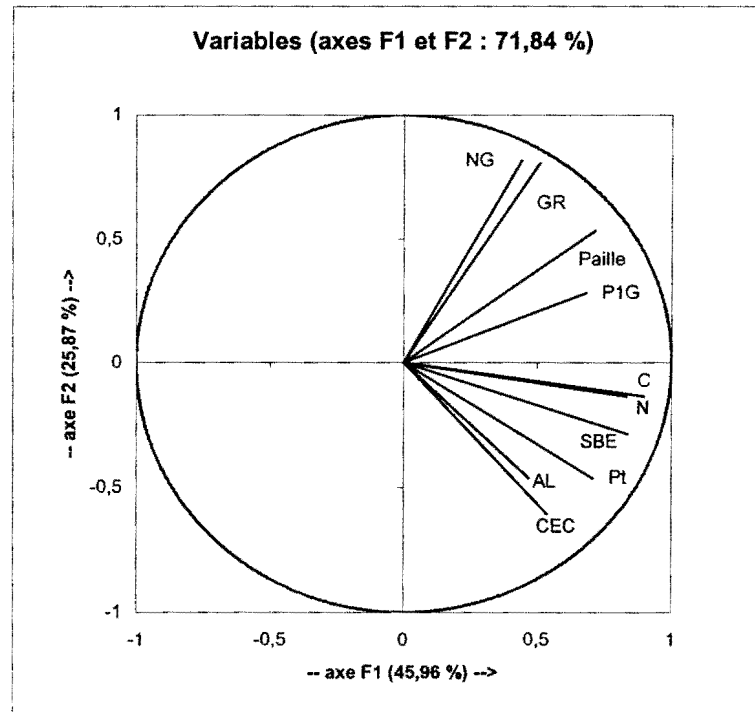
Annexe 12 : Valeurs propres

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
C	0,386	-0,083	0,465	0,125	-0,124	-0,231	-0,542	-0,484	-0,121	0,005
N	0,417	-0,084	0,376	0,046	-0,084	0,076	-0,095	0,809	0,007	-0,001
Pt	0,329	-0,287	0,117	0,144	0,211	0,755	0,273	-0,280	0,087	0,002
AL	0,219	-0,287	-0,361	0,639	0,406	-0,363	0,067	0,074	-0,151	0,051
CEC	0,250	-0,377	-0,413	-0,396	-0,307	0,061	-0,039	0,010	-0,607	-0,038
SBE	0,388	-0,178	-0,380	-0,213	-0,181	-0,161	-0,084	-0,049	0,748	-0,001
NG	0,205	0,507	-0,297	0,172	0,013	0,225	-0,259	0,024	-0,065	-0,678
P1G	0,316	0,175	0,142	-0,535	0,639	-0,268	0,236	-0,060	-0,083	-0,132
Paille	0,332	0,332	0,096	0,190	-0,472	-0,219	0,659	-0,142	-0,087	0,024
GR	0,236	0,500	-0,257	-0,010	0,101	0,199	-0,227	0,017	-0,093	0,719

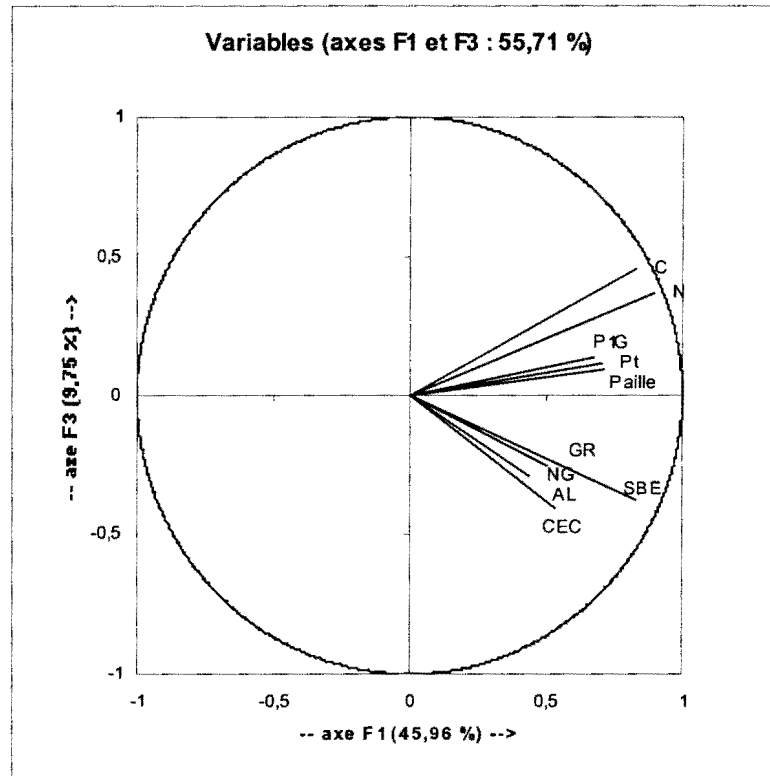
Annexe 13 : Coordonnées des variables

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
C	0,827	-0,134	0,459	0,109	-0,085	-0,146	-0,179	-0,117	-0,025	0,001
N	0,893	-0,134	0,371	0,040	-0,057	0,048	-0,031	0,196	0,001	0,000
Pt	0,706	-0,462	0,116	0,126	0,144	0,474	0,090	-0,068	0,018	0,000
AL	0,469	-0,461	-0,356	0,557	0,277	-0,228	0,022	0,018	-0,031	0,005
CEC	0,536	-0,606	-0,407	-0,345	-0,209	0,038	-0,013	0,002	-0,125	-0,004
SBE	0,832	-0,286	-0,375	-0,186	-0,124	-0,101	-0,028	-0,012	0,154	0,000
NG	0,440	0,816	-0,293	0,150	0,009	0,141	-0,086	0,006	-0,013	-0,071
P1G	0,678	0,281	0,140	-0,466	0,436	-0,168	0,078	-0,015	-0,017	-0,014
Paille	0,712	0,534	0,094	0,166	-0,322	-0,138	0,218	-0,034	-0,018	0,003
GR	0,506	0,805	-0,254	-0,009	0,069	0,125	-0,075	0,004	-0,019	0,076

Annexe 14 : Représentation graphique des variables selon le plan 1-2



Annexe 15 : Représentation graphique des variables selon le plan 1-3



Annexe 16 : Cosinus carrés des variables

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
C	0,685	0,018	0,211	0,012	0,007	0,021	0,032	0,014	0,001	0,000
N	0,798	0,018	0,138	0,002	0,003	0,002	0,001	0,038	0,000	0,000
Pt	0,498	0,214	0,013	0,016	0,021	0,225	0,008	0,005	0,000	0,000
AL	0,220	0,213	0,127	0,310	0,077	0,052	0,000	0,000	0,001	0,000
CEC	0,287	0,367	0,166	0,119	0,044	0,001	0,000	0,000	0,016	0,000
SBE	0,693	0,082	0,141	0,035	0,015	0,010	0,001	0,000	0,024	0,000
NG	0,194	0,665	0,086	0,023	0,000	0,020	0,007	0,000	0,000	0,005
P1G	0,459	0,079	0,020	0,217	0,190	0,028	0,006	0,000	0,000	0,000
Paille	0,507	0,285	0,009	0,027	0,104	0,019	0,047	0,001	0,000	0,000
GR	0,256	0,647	0,064	0,000	0,005	0,016	0,006	0,000	0,000	0,006

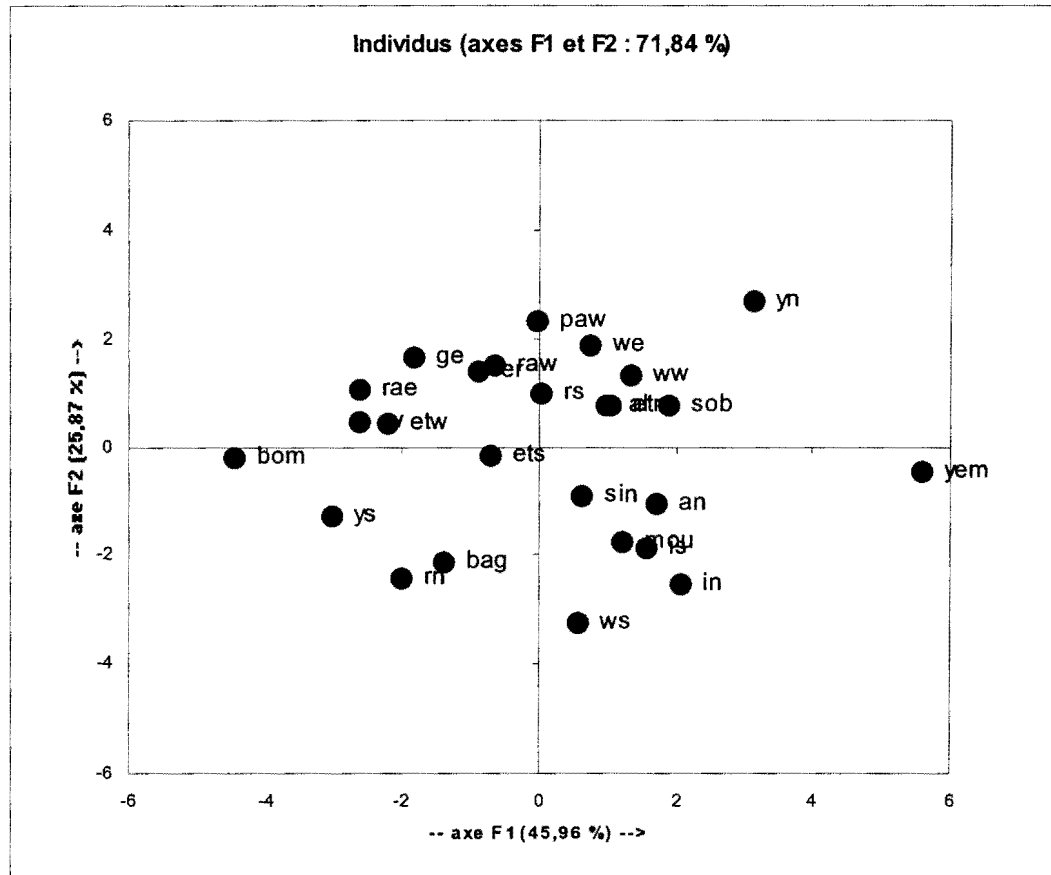
Annexe 17 : Contributions relative des variables (%) à la formation des axes factoriels

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
C	14,894	0,692	21,643	1,559	1,533	5,357	29,400	23,465	1,455	0,002
N	17,357	0,699	14,129	0,214	0,700	0,581	0,902	65,413	0,005	0,000
Pt	10,839	8,264	1,380	2,082	4,437	56,932	7,462	7,846	0,758	0,000
AL	4,780	8,227	13,035	40,774	16,469	13,184	0,445	0,554	2,271	0,262
CEC	6,253	14,176	17,018	15,660	9,399	0,369	0,153	0,009	36,815	0,148
SBE	15,069	3,170	14,453	4,542	3,276	2,588	0,708	0,242	55,952	0,000
NG	4,212	25,703	8,827	2,974	0,017	5,062	6,711	0,057	0,417	46,020
P1G	9,988	3,053	2,005	28,575	40,832	7,158	5,577	0,366	0,694	1,752
Paille	11,033	11,002	0,912	3,610	22,322	4,808	43,470	2,019	0,763	0,060
GR	5,575	25,014	6,599	0,010	1,014	3,961	5,172	0,029	0,870	51,756

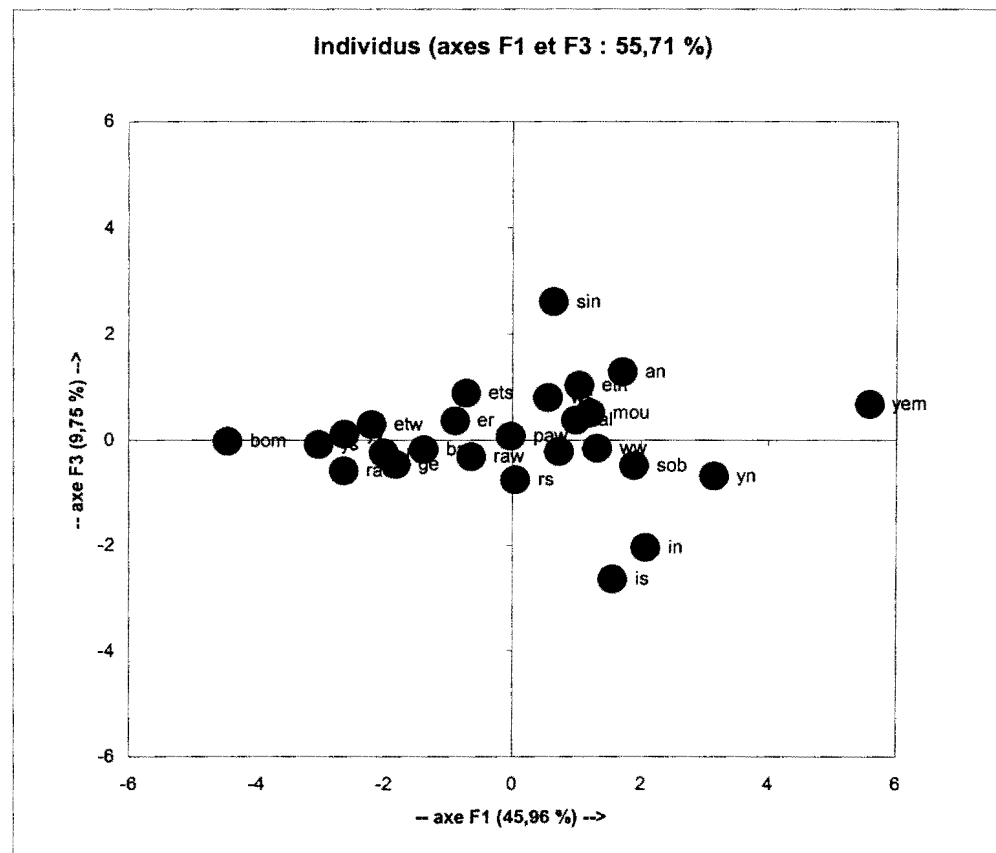
Annexe 18: Coordonnées des individus

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
mou	1,210	-1,779	0,510	-1,328	0,285	-0,901	-0,408	-0,270	-0,040	-0,119
an	1,708	-1,043	1,281	0,495	-1,543	-0,825	0,516	0,176	-0,229	0,054
sin	0,630	-0,919	2,603	0,062	1,343	-0,582	-0,184	0,406	-0,125	-0,037
yem	5,579	-0,473	0,670	0,028	-0,714	-0,877	-0,172	-0,049	0,339	0,091
etw	-2,208	0,439	0,292	-0,434	0,397	-0,438	-0,191	0,151	-0,147	-0,029
ets	-0,720	-0,162	0,887	0,529	0,163	0,646	0,066	-0,053	0,252	0,026
al	0,979	0,780	0,367	0,521	-0,114	0,543	-0,411	-0,157	0,381	0,028
ws	0,547	-3,257	0,792	0,007	-0,177	2,041	-0,148	-0,134	-0,153	-0,003
etn	1,033	0,770	1,032	1,016	0,743	0,413	0,477	-0,206	0,204	0,099
yn	3,148	2,698	-0,694	-1,972	-0,172	0,728	-0,118	0,579	0,099	0,098
we	0,726	1,858	-0,224	-0,761	-0,948	0,194	0,293	-0,320	-0,174	-0,021
bag	-1,384	-2,136	-0,193	-1,323	-0,857	-0,121	-0,253	-0,261	-0,072	-0,071
raw	-0,637	1,506	-0,319	-0,145	-0,331	0,204	-0,195	-0,028	-0,140	-0,023
ww	1,319	1,326	-0,167	-1,147	0,464	0,286	0,389	-0,256	-0,299	0,014
er	-0,890	1,412	0,364	-0,708	1,494	-0,360	0,285	-0,283	-0,060	0,008
yv	-2,634	0,470	0,104	1,233	-0,828	-0,522	-0,098	-0,191	0,066	0,081
rs	0,041	0,996	-0,760	0,714	0,180	-0,092	0,619	-0,097	-0,132	0,066
sob	1,895	0,772	-0,497	1,233	-0,124	0,187	0,317	0,180	0,088	-0,451
in	2,076	-2,527	-2,054	0,562	0,942	-0,169	-0,185	-0,292	0,001	0,051
ys	-3,030	-1,284	-0,089	-0,980	-0,163	0,578	0,306	0,227	0,333	-0,041
bom	-4,456	-0,208	-0,027	-0,236	-0,070	-0,210	0,131	0,059	0,303	0,030
rae	-2,635	1,069	-0,591	-0,221	0,200	-0,710	-0,072	0,075	0,162	-0,006
rn	-2,009	-2,424	-0,245	0,452	-0,206	0,079	0,194	0,386	-0,300	0,094
is	1,556	-1,876	-2,644	0,522	0,470	-0,364	0,047	0,316	0,024	0,049
ge	-1,821	1,659	-0,466	0,332	-0,595	-0,178	-0,464	-0,053	-0,057	-0,027
paw	-0,023	2,333	0,067	1,548	0,161	0,452	-0,740	0,097	-0,325	0,039

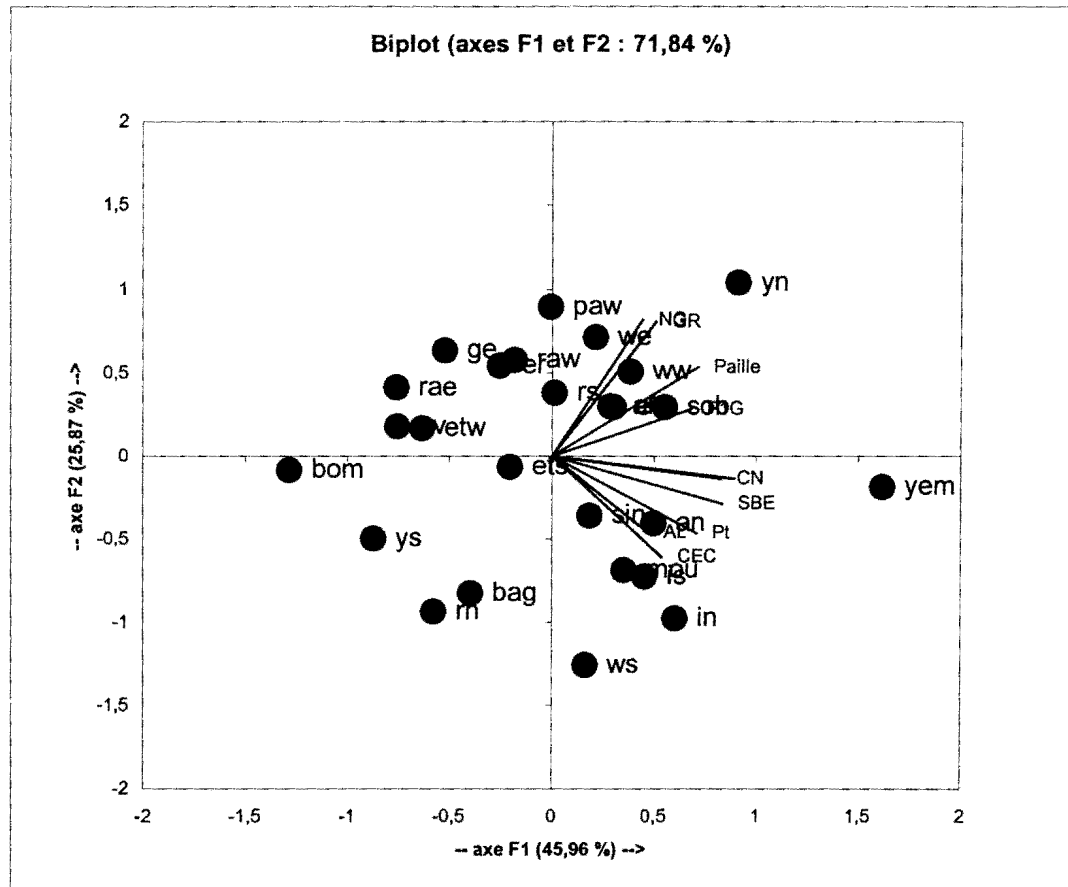
Annexe 19 : Représentation graphique des individus selon le plan 1-2



Annexe 20 : Représentation graphique des individus selon le plan 1-3



Annexe 21 : Représentation graphique des individus et des variables selon le plan 1-2



Annexe 22 : Représentation graphique des variables et des individus selon le plan 1-3

