



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'AGRONOMIE
ET DES INDUSTRIES ALIMENTAIRES

[M] 1993 BADIANE-NIANE, A.

THESE

Présentée à

L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

en vue de l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'INPL

Spécialité : Sciences Agronomiques

par

Aminata NIANE BADIANE
Ingénieur Agronome



Sujet :

**LE STATUT ORGANIQUE D'UN SOL SABLEUX DE LA ZONE
CENTRE-NORD DU SENEGAL**

*Soutenue publiquement le 03 Juin 1993,
devant la commission d'examen*

Membres du Jury :

MM. F. JACQUIN	Professeur à l'E.N.S.A.I.A.	<i>Président</i>
F. GANRY	Directeur de Recherches au CIRAD-CA Montpellier	<i>Rapporteur</i>
G. GUIRAUD	Directeur de Recherches au CEA Cadarache	<i>Rapporteur</i>
L. MATHIEU	Professeur à l'Université de Gembloux	<i>Examineur</i>
J.P. NDIAYE	Directeur de Recherches à l'ISRA au Sénégal	<i>Examineur</i>
M.P. SEDOGO	Directeur Général du CNRST au Burkina-Faso	<i>Invité</i>

"Notre civilisation qui s'enorgueillit de tant de découvertes, qui a su capter les forces les plus intimes de la matière, serait-elle impuissante à réagir contre ce phénomène (la désertification) lié notamment aux activités les plus élémentaires de l'homme : le travail du sol pour en retirer sa substance.

Etudions ce phénomène et nous verrons que, pour sérieux qu'il soit, il ne soulève pas des problèmes insolubles, loin de là...."

Georges Vialas, "La conservation des sols", La Maison Rustique, 1958"

AVANT-PROPOS

*

**

Ce travail a été réalisé au sein de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (I.S.R.A) dans son Centre National de Recherches Agronomiques (C.N.R.A) de Bambey. Je tiens donc, tout d'abord à remercier vivement le Directeur Général de l'I.S.R.A de m'avoir autorisé à le faire.

La matérialisation de ce mémoire a été rendue possible grâce à une bourse du Fonds d'Aide et de Coopération (F.A.C). Je saisis l'occasion qui m'est ici offerte pour renouveler à cette agence toute ma reconnaissance et mes profonds remerciements. Cette bourse a été initiée par Formagro-CIRAD que je remercie ici.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui, à des degrés divers, à différentes étapes de l'évolution de ce travail, m'ont accordé leur temps et fait bénéficier de leurs conseils.

C'est d'abord à Monsieur F. Ganry responsable de l'unité de Recherches Facteur et condition du Milieu au Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (C.I.R.A.D-CA) à qui je dois l'initiative et la direction scientifique de cette thèse, que j'exprime toute ma reconnaissance. J'exprime également mes plus vifs remerciements :

- au Professeur F. Jacquin de L'ENSAIA-INPL qui a permis mon inscription à l'INPL, j'exprime toute ma gratitude, pour m'avoir inséré au sein de son équipe de recherche, pour ses nombreux et précieux conseils scientifiques. Je le prie d'accepter mes plus

sincères remerciements pour sa disponibilité et son chaleureux accueil ;

- a Monsieur G. Guiraud Directeur de Recherches au Commissariat à l'Energie Atomique de Cadarache (C.E.A) pour l'intérêt qu'il a toujours manifesté à l'égard de ce travail ; cet intérêt, plus généralement, remonte aux années 70, date à partir de laquelle s'est établie une fructueuse collaboration entre le C.E.A de Cadarache et le C.N.R.A de Bambey. Je le remercie enfin pour les remarques , ses conseils et critiques qu'il m'a faites au cours de mon travail et lors de la rédaction de ce mémoire ;

- au Professeur L. Mathieu de la chaire de pédologie de l'Université de Gembloux, qui m'a fait l'honneur d'examiner ce travail et de le juger. Qu'il soit assuré de ma reconnaissance sincère.

A Monsieur M.P. Sedogo, Directeur général du C.N.R.S.T. au Burkina Faso, j'adresse mes vifs remerciements d'avoir accepté de se déplacer pour faire partie de ce Jury.

Je remercie particulièrement Messieurs J.P. Ndiaye, A. Bâ , H.M. Mbengue et P.L. Sarr, respectivement Directeur de Recherches sur les systèmes et cultures irrigués (D.R.C.S.I), Directeur de Recherches sur les cultures et systèmes pluviaux (D.R.C.S.P), Coordonnateur du Programme Gestion des Ressources Naturelles en Zone Sèche à l'I.S.R.A et Chargé des recherches au Programme National de Vulgarisation (P.N.V.A) au Sénégal pour leur appui inestimable.

A l'ensemble du personnel de notre laboratoire biochimie des sols du C.N.R.A de Bambey particulièrement Mme Fatou Gueye Assistante de Recherches et Messieurs Samba Cissé, Youssouph Ndiaye et Saliou Faye Techniciens dont la compétence, la disponibilité et l'esprit critique ont été déterminants dans l'acquisition de mes résultats. Je leur adresse mes vifs remerciements.

Il m'est agréable de remercier Dr. P. M. Salema et Mme H. Axmann de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (Vienne) auxquels je dois les centaines d'analyses de plantes et de sols marqués au ^{15}N , R. Oliver et son équipe du laboratoire d'agrologie du CIRAD-CA pour leurs conseils et leur appui technique.

Je remercie tous mes collègues chercheurs au service Sciences du sol à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires (E.N.S.A.I.A) de Nancy particulièrement à Melle S. Alfaia, Messieurs S. Sulce et D. Palma-Lopez avec qui j'ai passé d'excellents moments. Je leur souhaite bon courage. Mes remerciements vont également à Mesdemoiselles I. Dosda, B. Bailly et Messieurs L. Florentin et B. Colin pour les nombreux services rendus .

J'adresse également mes profonds remerciements à Monsieur P.C. Vong, Ingénieur de recherches à l'E.N.S.A.I.A et responsable du laboratoire des isotopes pour l'aide précieuse qu'il m'a apportée.

J'associe à mes remerciements Monsieur Philippe Robert Chercheur V.S.N à l'I.S.R.A qui m'a grandement déchargé de mes tâches de chef de service durant mon absence.

Que soit remercié ici très chaleureusement tout le personnel du laboratoire central d'analyses des sols, du service Fermin et de la documentation du Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey, particulièrement Messieurs O. Ndoye, M. Sidibé, M.K. Thiaw et A. Diouf pour les travaux qu'ils ont effectués dans le cadre de ce travail.

Je ne saurais oublié mes amis, ma famille et particulièrement mon mari, qui, par leur patience, n'ont jamais cessé de participer dans l'ombre à ce travail.

Enfin, je dédie ce mémoire à mon père EL hadji Baba Niane décédé le 17 Octobre 1990 en mon absence .

ABRÉVIATIONS UTILISÉES

1 : Engrais azotés

- CRU** = Pourcentage de l'azote engrais, absorbé par les parties aériennes, appelé coefficient réel d'utilisation de l'azote engrais.
- NiS** = Azote engrais immobilisé dans le sol et les racines de l'ensemble du profil prospecté par les racines (mesuré directement).
- Nis** = Azote engrais immobilisé dans le sol et les racines de l'horizon de surface à forte densité (au moins 80 % du système racinaire) ; de ce fait entrant dans le cycle interne de l'azote (mesuré directement dans l'horizon considéré). Cet horizon est appelé horizon agronomique.

2 : Plante

- NdfS** = Azote des parties aériennes de la plante dérivé de la matière organique du sol, native et exogène.
- NdfF** = Azote des parties aériennes de la plante dérivé de l'engrais.
- NdfFix** = Azote des parties aériennes dérivé de la fixation de N₂.
- N total** = NdfS + NdfF + NdfFix, c'est l'azote total des parties aériennes de la plante.

3 : Bilan azoté

- Inputs** = Entrées d'azote dans le système de cultures.
- Outputs** = Sorties d'azote hors des systèmes de cultures.

4 : Climat

- E.T.R** = Evapotranspiration réelle
- E.T.M** = Evapotranspiration maximum

GLOSSAIRE

Azote mobilisable = Azote du sol "available amount of soil nitrogen" dans lequel s'alimente la plante, conventionnellement représenté par la valeur A

Efficienc e réelle de l'azote engrais = C'est la somme des pourcentages de l'azote engrais absorbé dans les parties aériennes de la plante et de l'azote engrais immobilisé dans le sol et les racines entrant dans le cycle interne de l'azote et potentiellement récupérables par les plantes. Elle ne peut être mesurée directement ; nous faisons l'hypothèse que cette efficacité est comprise entre les deux estimations suivantes :

- estimation approchée par excès = CRU% + NiS%
- estimation approchée par défaut = CRU% + NiS%

Fixation de N₂ = Il s'agit de la fixation biologique de N₂ ; celle-ci est évaluée quantitativement soit en pourcentage de N total de la plante, soit en kg N ha⁻¹.

Immobilisation de l'azote engrais = Il s'agit d'une immobilisation (appelée aussi réorganisation) au sens large qui correspond à l'azote engrais retenu dans le sol sous forme organique et minérale et "retrouvé" à l'analyse. Dans l'ensemble du profil prospecté par les racines, sa valeur est désignée sous forme abrégée par NiS %.

Niveau d'équilibre du système de culture = Le système de culture a atteint ou est proche de son niveau d'équilibre lorsque le solde des pertes (outputs) et gains (inputs) d'azote est nul ou tend vers zéro.

Valeur A = Elle représente la quantité d'azote disponible dans une source (air, sol ou engrais) exprimé en équivalent engrais de l'engrais apporté.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	1
PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I - BILANS ORGANIQUES ET MINERAUX DES SOLS TROPICAUX CULTIVES	4
I - Introduction	4
II - Etude quantitative	6
II.1 - Technique expérimentale	6
II.2 - Bilan organique	7
II.2.1 - Approches du bilan de l'azote dans l'agrosystème	7
II.3 - Bilan de l'engrais azoté dans le système sol-plante	9
II.4 - Bilan minéral des systèmes de culture en zone tropicale sèche	10
II.4.1 - Les termes du bilan minéral des systèmes de cultures pluviales	10
II.4.1.1 - Apports minéraux	11
II.4.1.2 - Evaluation des sorties minérales	13
II.4.2 - Les termes spécifiques du bilan azoté des sols	15
II.4.2.1 - Fixation symbiotique	15
II.4.2.2 - Pertes d'azote sous forme gazeuse	16
III - Conclusion	17
DEUXIEME PARTIE : PRESENTATION DU MILIEU ET METHODES D'INVESTIGATIONS	
CHAPITRE II - PRESENTATION DU MILIEU	18
I - Climat	18
II - Végétation	19
III - Géologie	20
IV - Les grands types de sols	20
CHAPITRE III - METHODES D'INVESTIGATIONS	23
I - Présentation des sites de Bambey et de Thilmakha	23
II - Dispositifs expérimentaux de base et conduites des cultures	26
II.1 - Essai travail du sol	26
II.2 - Essai courbe de réponse fumier	27
III - Mesures et expérimentations réalisées	29

III.1 - Choix des traitements	29
III.2 - Mesures réalisées	30
IV - Méthodes d'analyses	32
IV.1 - Analyse physique et chimique des sols et plantes	32
IV.1.1 - Analyse granulométrique	32
IV.1.2 - Méthodes d'analyses chimiques des sols et des plantes	32
IV.1.3 - Méthodes de fractionnement de l'azote par hydrolyse acide	33
IV.2 - Méthodes biologiques : incubation en aérobiose	34
IV.2.1 - Méthodes de quantification des mécanismes de minéralisation et d'organisation	34
IV.2.2 - Mesure de la biomasse microbienne	35
IV.3 - Méthodes isotopiques	36
IV.3.1.- Méthodologie d'étude	36
IV.3.2 - Techniques analytiques	38
IV.3.2.1 - Dosage chimique	38
IV.3.2.2 - Dosage isotopique	39
IV.3.3 - Avantages et inconvénients de l'utilisation de l'azote marqué	39

TROISIEME PARTIE : EVALUATION DES RESSOURCES ORGANIQUES

CHAPITRE IV - EVALUATION DES RESSOURCES ORGANIQUES DISPONIBLES EN MILIEU PAYSAN DANS LA ZONE CENTRE-NORD DU SENEGAL	41
I - Introduction	41
II - Production et utilisation des résidus de récolte	41
II.1 - Production des résidus	41
II.2 - Utilisation des résidus	43
III - Production et utilisation de la matière organique d'origine animale	43
III.1 - Gestion et production de fumier	44
III.2 - Utilisation	45
IV - Conséquences sur la fertilité des sols	46
V - Conclusion	49

**QUATRIEME PARTIE : ROLE DE L'AMENDEMENT
ORGANIQUE : EFFET SPECIFIQUE DU LABOUR ET EFFET
LABOUR AVEC ET SANS APPORT DE MATIERE
ORGANIQUE SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES ET
LA FERTILITE DES SOLS**

**CHAPITRE V - EFFET DU LABOUR AVEC ET SANS APPORT DE
MATIERE ORGANIQUE** 51

I - Introduction	51
II - Effet du labour sur les rendements	52
II.1 - Cas de Bambey : effet spécifique du labour	52
II.2 - Cas de Thilmakha : effet labour avec et sans apport de fumier	56
III - Conclusion	60

**CHAPITRE VI - EFFET DES TECHNIQUES CULTURALES SUR
L'EVOLUTION DE LA MATIERE ORGANIQUE ET LES AUTRES
CARACTERISTIQUES DU SOL** 63

I - Evolution du carbone, de l'azote et des fractions azotées organiques du sol	64
I.1 - Le carbone et l'azote du sol	64
I.2 - Les fractions azotées organiques du sol	68
II - Evolution des autres caractéristiques du sol	71
III - Conclusion	74

**CINQUIEME PARTIE : QUANTIFICATION DES
RESSOURCES AZOTEES ET EFFET DES PRATIQUES
CULTURALES SUR LE BILAN DE L'AZOTE ENGRAIS DANS
LE SYSTEME SOL-PLANTE**

**CHAPITRE VII - EVALUATION DES RESSOURCES AZOTEES DES
CULTURES** 76

I - Introduction	76
II - Dispositifs expérimentaux et méthodes de calcul	77
II.1 - Dispositifs et base de conduite des cultures	77
II.2 - Méthodes de calcul	78
III - Résultats - Discussions	80
III.1 - Azote fixé par l'arachide	81
III.1.1 - Cas de Bambey	81
III.1.2 - Cas de Thilmakha	84
III.2 - Azote provenant de l'engrais	86
III.3 - Azote du sol et valeur A	90

IV - Conclusion	92
CHAPITRE VIII - EFFET DES TECHNIQUES CULTURALES SUR LE BILAN DE L'AZOTE ENGRAIS DANS LE SYSTEME SOL-PLANTE	93
I - Bilan de l'azote engrais	94
II - Conclusion	100
SIXIEME PARTIE : MECANISMES REGISSANT LE STATUT ORGANIQUE DES SOLS SABLEUX DE LA ZONE CENTRE-NORD DU SENEGAL	
CHAPITRE IX - EVALUATION DU COEFFICIENT K_2 DES SOLS ETUDIES	102
I - Introduction	102
II - Méthodes de calcul	103
III - Résultats - Discussions	105
CHAPITRE X - MINERALISATION ET ORGANISATION	108
I - Introduction	108
II - Résultats - Discussions	110
II.1 - Minéralisation nette (min)	110
II.2 - Minéralisation brute (mt)	111
II.3 - Organisation brute	113
II.4 - Pertes	115
III - Conclusion	116
CHAPITRE XI - EVALUATION DE LA BIOMASSE MICROBIENNE DES SOLS	118
I - Introduction	118
II - Méthodes de calcul	119
III - Résultats - Discussions	119
DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE	125
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	131
ANNEXES	145

INTRODUCTION GENERALE

*

* *

L'accroissement des besoins vivriers en zone sahélienne et plus généralement en zone tropicale sèche implique un relèvement des rendements et leur maintien. Il est maintenant bien établi que le statut organique joue un rôle primordial dans la productivité des terres mais aussi un rôle de régulateur dans ce milieu mal maîtrisé ; sur ce sujet la synthèse la plus récente a été faite par Pieri (1989). Les travaux de Nye et Greenland (1960), Dupont De Dinechin (1967), Siband (1972-1974) et Sarr (1981) ont mis en évidence les phénomènes de dégradation des sols tropicaux liés à la mise en culture. D'autres auteurs : Blondel (1971), Adetunji et Agboola (1974), Godefroy (1974) et Pichot (1978 a et b) ont respectivement fait état du rôle de la matière organique sur la porosité, la stabilité structurale des sols et la nutrition azotée des plantes. Feller et al (1982) ont montré les différentes répartitions de la matière organique dans les compartiments du sol, enfin Cissé (1980 et 1986) a décrit l'influence de la matière organique sur les bilans hydriques et minéraux des sols. L'ensemble de ces résultats a fait état de la minéralisation rapide de la matière organique in situ et des conséquences qui en résultent sur les propriétés physico-chimiques des sols tropicaux cultivés. Sous climat tempéré, les travaux de Kononova (1966 a et b), Morel (1969, 1978, 1981 et 1989), Delas et al (1973) et Jacquin (1985) ont montré que la mise en culture des sols s'accompagne de modifications de leurs propriétés physiques et chimiques et que celles-ci peuvent résulter de la baisse des taux de la matière organique (Dan Kofoed et

Nemming 1976, De la lande Cremer 1976 a et b, Delas 1971 et Stevenson 1986).

Ces nombreux résultats montrent une dégradation croissante de la fertilité des sols incluant une perte de leur aptitude régulatrice, notamment du pouvoir tampon ; avec la baisse du pouvoir alimentaire, ceci constitue le problème actuel qui menace le plus gravement la durabilité de la production agricole en régions tropicales. C'est à ce titre que se pose avec acuité le problème de l'entretien organique des sols.

Les recherches conduites jusqu'à nos jours sur les sols ferrugineux tropicaux type sableux de la zone soudano-sahélienne permettent d'apporter des réponses quant aux relations entre le niveau d'intensification et le statut organique :

- d'après Chopart et Nicou (1987), une agriculture semi-intensive (rendements en mil-grains compris entre 1 et 2 t M.S/ha) en sols non dégradés sans apports organiques serait possible ; mais, parce que cette assertion n'est pas fondée sur des processus paramétrés et quantifiés, elle ne peut donc pas être extrapolée à l'ensemble de la zone étudiée ;

- on peut répondre qu'une amélioration significative du statut organique est possible en un temps relativement court (une dizaine d'années) par apports d'amendements organiques (Cissé 1986 et Ganry 1990) mais sans pouvoir fixer les doses optimales à apporter et les niveaux critiques de matière organique dans le sol pour un agrosystème donné ;

- on ne peut répondre avec exactitude en ce qui concerne l'objectif de rendement qu'on peut viser en fonction des disponibilités en matière organique.

Pour ces trois raisons, à savoir: **pouvoir estimer la productivité du sol pour un itinéraire technique donné** (incluant donc un certain niveau d'apport organique connu au sol), **connaître les niveaux critiques** de matière organique du sol, enfin de **pouvoir extrapoler à l'ensemble d'une zone** (par exemple la zone Centre-Nord du Sénégal), il est nécessaire de quantifier les divers mécanismes régissant le bilan humique et le bilan azoté dans le système sol-plante.

Cette approche devra s'accompagner d'une évaluation de la matière organique disponible en milieu réel et de la recherche d'*indicateurs* du statut organique et du statut azoté du sol *fiables* et *simples* à mesurer.

Dans cet objectif, des travaux ont été menés au Sénégal en milieu réel pour évaluer les ressources organiques et sur deux dispositifs de longue durée (Bambey et Thilmakha) ; ces dispositifs étudient respectivement l'influence du labour et l'apport de matière organique (fumier) sur le niveau de la productivité et le maintien de la fertilité des sols de la zone Centre-Nord ; ils ont servi de support expérimental pour nos recherches dont le plan de présentation des résultats comporte six parties :

- synthèse bibliographique,
- étude du milieu et des méthodes d'investigations,
- évaluation des ressources organiques,
- rôle de l'amendement organique,
- quantification des ressources azotées et effets des pratiques culturales sur le bilan de l'azote engrais dans le système sol-plante,
- mécanismes régissant le statut organique de ces sols.

PREMIERE PARTIE
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I- BILANS ORGANIQUES ET MINÉRAUX DES SOLS TROPICAUX CULTIVÉS

I - Introduction

Le problème du maintien de la fertilité du sol par un mode de gestion adéquate des terres et des ressources naturelles n'est pas nouveau mais il se pose avec de plus en plus d'acuité face à la pression démographique non maîtrisée malgré l'exode rural et l'abandon de la pratique des jachères dans la zone tropicale sèche. Les systèmes de cultures traditionnels en zone Ouest Africaine, grâce à des jachères de durée plus ou moins longue, pouvaient empêcher une dégradation très accusée de la fertilité des sols et permettre ainsi d'avoir des rendements, certes faibles et limités notamment par les conditions climatiques et les techniques culturales appliquées, mais dont l'obtention régulière était cependant assurée. Les contraintes, telles que la croissance démographique, l'ouverture de l'économie monétaire (cultures d'exportation) induite par la colonisation, la priorité accordée au développement agricole par les responsables nationaux et la communauté internationale et la disponibilité en terres cultivables ont entraîné une profonde mutation du mode d'exploitation traditionnel (Pieri 1989). Du fait de ces contraintes diverses qui s'exerçaient dans les milieux ruraux, les techniques culturales qui y étaient alors mises en oeuvre ne permettaient pas d'entretenir la fertilité des sols. Il en résulta donc, surtout dans la zone tropicale Ouest Africaine qui est

une zone de culture très ancienne, une baisse progressive des rendements de toutes les cultures.

L'importance de la matière organique pour la fertilité (maintien et amélioration) des sols sableux du Sénégal est généralement reconnue. Mais le problème de la matière organique est loin d'avoir reçu une solution définitive (Ndiaye et al., 1989). Le Centre National de Recherche Agronomique de Bambey (un des plus anciens des instituts de recherches en zone Ouest africaine) a abrité de nombreuses recherches depuis 1947 (Bouffil 1950, Bouyer 1962). Ces recherches peuvent être scindées en trois phases :

- de 1945 à 1960 une recherche basée sur deux conceptions d'une part d'ordre économique envisageant une amélioration partielle et à court terme de la fertilité des sols et d'autre part d'ordre technique visant une amélioration complète et durable de la fertilité. Ces recherches ont été essentiellement axées sur la fertilisation minérale et l'étude de la matière organique a seulement abouti à la notion d'enfouissement d'engrais vert. Cette politique de fertilisation n'a pas atteint les objectifs escomptés.

- De 1960 à 1975 les gouvernements en place ont appliqué une politique d'intensification par l'utilisation des engrais minéraux. La matière organique est un peu négligée du fait que les disponibilités en matières végétales et animales sont faibles.

- Enfin de 1975 à nos jours, avec la crise de l'énergie on assiste à un double échec de cette politique d'intensification par les engrais minéraux. Les terres cultivées ont atteint une acidification très élevée. La détérioration de la situation climatique a rendu la réponse des cultures à la fumure minérale très aléatoire. Dans les conditions actuelles, compte tenu de la cherté des engrais minéraux et de la nécessité de maintenir, voire améliorer la fertilité des sols

pour augmenter la productivité, on assiste à nouveau à un regain d'intérêt pour l'amendement organique

II - Etude quantitative

II.1 - Technique expérimentale

La connaissance de l'évolution de la teneur en matière organique demeure une préoccupation majeure dans la gestion des sols cultivés sur lesquels les "investissements organiques" apparaissent insuffisants. Au cours de ces dernières décennies les recherches largement développées sur ce problème ont été effectuées sur des essais "*longue durée*". Ceux-ci, en plus de leur rôle de démonstration permanent in situ et en plus de leur rôle de référentiel technique (se valorisant au fil des ans et apportant des données généralement fiables pour un itinéraire technique donné dans un environnement donné), peuvent être considérés au bout d'un certain temps comme un système de culture proche de son niveau d'équilibre ayant engendré un agrosystème. C'est ainsi que furent analysés les effets cumulatifs des précédents cultureux et des pratiques culturales (Nicou 1978, Sarr 1981, Wey et al. 1987, Chopart et Nicou 1987, Cortier et al. 1988, Pieri 1989 et Ganry 1990).

Différentes techniques d'études, notamment les analyses du carbone et de l'azote permettant l'évaluation de la teneur en matière organique du sol et des techniques isotopiques utilisant ^{14}C et ^{15}N sous différentes modalités ont été réalisées en laboratoire sur des sols cultivés ou non, soumis à des protocoles expérimentaux de durée suffisamment longue dans lesquels, l'évolution de la

matière organique peut être quantifiée avec une précision satisfaisante.

II.2 - Bilan organique des sols cultivés

La quantification de l'évolution de la matière organique repose sur l'examen du bilan des gains et des pertes. Les termes du bilan de la matière organique peuvent être exprimés en azote ou carbone. Les calculs se rapportent habituellement à une année moyenne de rotation culturale et à une masse donnée d'une couche arable considérée.

II.2.1 - Approches du bilan de l'azote dans l'agrosystème

Trois approches du bilan de l'azote dans l'agrosystème ont été étudiées par Ganry (1990) :

(1) bilan sur plusieurs années : les apports et les exportations des cultures sont évalués. Si les apports sont supérieurs aux exportations, on considère que le système a été le siège de gains d'azote mais dans le cas contraire, il y aura des pertes. Ces bilans permettent en quelque sorte de faire ressortir la tendance à la dégradation ou à l'amélioration de la fertilité du sol mais ne permettent pas la quantification des flux (les pertes de l'azote engrais, l'azote fixé par les légumineuses et l'azote prélevé par la plante) paramètres essentiels dans une optique d'économie des engrais azotés en particulier et de l'azote en général ;

(2) bilan réel des différents flux d'azote : ce bilan ne peut être réalisé que lorsque les différents flux d'azote, "inputs" et "outputs" peuvent être quantifiés. Deux principaux pools d'azote sol et plante, avec leurs "inputs", "outputs" et transfert d'azote régissent ce type

de bilan mais il faut signaler que le pool "animal" n'est pas négligeable. Les "inputs" sont essentiellement constitués de l'azote engrais (minéral ou organique), la fixation symbiotique, l'azote des précipitations atmosphériques et l'azote des semences. Quant aux "outputs" d'azote, ils sont composés de l'azote exporté par les récoltes, la lixiviation, l'érosion, la volatilisation et la dénitrification. Deux remarques doivent être signalées concernant cette approche :

- sous un climat donné, l'importance relative des flux d'azote est fonction du système de culture et de la situation topographique du site. Il est impossible de mesurer tous les flux, des estimations sont alors nécessaires.

- lorsque le système de culture approche de son niveau d'équilibre, les inputs tendent à être compensés par les "outputs" (pertes et exportations).

(3) la troisième et dernière approche est la détermination des "outputs" inconnus : dans ce bilan, l'ensemble des "inputs" est mesuré pendant la période t , ainsi que l'ensemble des "outputs". Si le système a atteint son niveau d'équilibre $N_0 = N_t$, les "outputs" inconnus sont égaux à la différence entre les "inputs" et les "outputs" connus.

L'évolution de la matière organique a donné lieu à l'élaboration de plusieurs modèles théoriques qui, tenant compte des apports, se proposent de préciser les variations dans le temps de la teneur du sol en matière organique. La plupart de ces modèles proposés (Greenland 1970, Pieri 1989) donnent au plan quantitatif une approche satisfaisante de l'évolution de la matière organique d'un sol cultivé au cours d'une période suffisamment longue. Les travaux de Charreau (1972) ont montré que des "inputs" insuffisants conduisent à un bilan négatif entraînant un épuisement rapide de la

fertilité dans les milieux physiques et biologiques instables que sont les tropiques arides et semi-arides. Déjà en 1950, les travaux de Bouffil montrent que le "*capital sol*" de la zone tropicale sèche doit être non seulement *conservé* mais aussi *amélioré*.

En conclusion, le bilan azoté permet de mettre en évidence les conséquences possibles, à long terme, de certaines pratiques culturales : les restitutions insuffisantes, le brûlage des pailles et le brûlis. Complété par la mesure périodique du taux de matière organique du sol, le bilan humique est un élément de décision utile pour la gestion des matières organiques ou azotées.

II.3 - Bilan de l'engrais azoté dans le système sol-plante

Grâce au ^{15}N , le devenir de l'azote engrais a été étudié dans plusieurs sols de la zone tropicale sèche. Chabalier (1976), Chabalier et Pichot (1978 et 1979), Chabalier (1985) et Gigou et al. (1985) ont montré que les CRU du maïs et du riz sont environ de 40 à 45% lorsque les doses et dates d'applications sont bien choisies et peuvent être supérieurs lorsque l'application a lieu à la floraison. Au Sénégal, Ganry (1990) trouve des CRU de 25 et 35% respectivement pour le mil et pour le maïs et une forte immobilisation de l'azote dans le sol à la récolte (30-50%). L'ensemble de ces travaux ont montré que seulement le 1/3 de l'azote absorbé par ces cultures provient directement des engrais apportés et le reste est fourni par le sol ; ceci montre que l'azote de l'engrais joue un rôle important dans l'entretien d'un pool d'azote mobilisable du sol. Il faut par ailleurs signaler que le bilan de l'azote engrais dans le système sol-plante est fortement influencé par les conditions pédoclimatiques et les techniques culturales ; on

observe au Sénégal (Séfa) sous culture de maïs un bilan de l'azote dans le système sol-plante élevé de 90 à 100% lorsque l'engrais est enfoui (bande ou en poquet) comparé à celui apporté en surface (57 à 80%). Ceci explique les faibles pertes d'azote engrais obtenues en zone de culture pluviale lorsque l'engrais est localisé.

II.4 - Bilan minéral des systèmes de culture en zone tropicale sèche

Pieri (1985) a fait le point des connaissances acquises à ce jour en Afrique tropicale sèche et dans d'autres régions arides et semi-arides du monde. Il a évalué d'une part, l'importance relative des pertes et gains minéraux et organiques dans les principaux systèmes de cultures pluviales et d'autre part, les déficits minéraux majeurs et les évolutions de fertilité des sols qui en résultent.

II.4.1 - Les termes du bilan minéral des systèmes de cultures pluviales

Les bilans minéraux des systèmes de cultures sont caractérisés par les "entrées" ou crédit et les "sorties" ou débit. Ils ont en définitive pour objet d'apprécier le devenir des pools A (éléments nutritifs disponibles pour les cultures), B (fraction organique du sol) et C (réserves minérales du sol). Ces flux d'entrée et de sortie d'éléments dont la somme algébrique, selon qu'elle est nulle, négative ou positive, traduit un maintien, une dégradation ou une amélioration de la richesse minérale du sol (Frissel 1978). Des difficultés peuvent surgir lors de l'établissement de ce bilan : pour beaucoup d'essais agronomiques de longue durée les analyses de sol au départ n'existent pas ou les techniques analytiques adoptées

pour évaluer le temps zéro ont changé, ceci rendant difficile l'évaluation des bilans minéraux à la fin de l'étude.

II.4.1.1 - Apports minéraux

a - Engrais

L'évaluation de ce terme du bilan ne pose théoriquement pas de problème. Cependant, on constate très souvent que, si l'on peut normalement disposer d'informations suffisantes pour apprécier les éléments majeurs N, P et K appliqués par les paysans, on est généralement très mal renseigné sur les quantités d'éléments mineurs. A titre d'exemple, la consommation totale d'engrais (N + P₂O₅ + K₂O) dans quelques pays en kg/ha de superficie agricole est présentée ci-dessus (Statistique F.A.O, 1989)

Egypte	212	Algérie	4
Inde	27,6	Sénégal	2,7
Brésil	16,1	Cameroun	2,2
Maroc	11	Burkina-Faso	0,9
Tunisie	8	Niger	0,2

Le fait le plus important dans les pays de la zone aride et semi-aride est que l'utilisation de l'engrais reste très réduite.

b - Restitutions organiques

Les restitutions sont en nature et en quantités très diverses. De nombreuses références (FAO 1989) font état de la richesse minérale de ces restitutions organiques. Il convient cependant de préciser que les résidus des récoltes tels que ceux de l'arachide, du riz et du mil ont des teneurs en azote comprises entre 0,5 et 1,7%. Ganry

(1984) trouve que 5 tonnes de fumier frais (45% M.S.) à base de paille, comprenant environ 25% de terre humifère restituent 25 à 30 kg de N, 7 à 10 kg de P₂O₅, 30 à 35 kg de K₂O, 12 à 15 kg de MgO et 20 à 25 kg de CaO.

En Afrique, le problème essentiel de l'emploi des résidus organiques réside dans leur qualité et dans leur disponibilité. En zone inter-tropicale, Pichot (1974) estime à 1,5-2,5 t/ha les productions disponibles de paille ; Cousin (1981) a estimé à Saria au Burkina Faso des quantités de paille comprises entre 1 et 2t/ha. Après plusieurs campagnes d'enquêtes (1978, 1979, 1980 et 1990) réalisées en milieu rural sénégalais, les chercheurs du Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey (Allard et al. 1983, Badiane et al. 1990) montrent que les quantités de matière sèche effectivement disponibles à des fins de fertilisation sont très réduites (1 à 3t/ha).

c - Apports minéraux atmosphériques

L'évaluation de ces apports minéraux par les pluies et les poussières a fait l'objet de divers travaux à travers le monde. Wetselaar et al. (1963) trouvent en Australie des quantités d'azote apportées par les pluies de l'ordre de 1 kg N/ha/an, Jones (1972) à Sumaru au Nigéria 4,6 kg N/ha/an, Sanchez (1976) et Pieri (1985) trouvent des quantités d'azote plus faibles de l'ordre de 0,5 kg/ha/an. Roose (1981) trouve des quantités très importantes d'azote variant entre 5,4 et 12,2 kg/ha/an à Korogho en Côte d'Ivoire. Ces quantités apparaissent en général très variables pour l'azote en zone tropicale due vraisemblablement aux fortes fluctuations pluviométriques ; les apports en K, Mg et P sont très faibles.

II.4.1.2 - Evaluation des sorties minérales

a - Exportations minérales par la culture

Des travaux réalisés dans la zone inter-tropicale par de nombreux chercheurs (Deat et *al.* 1976, Siband 1972, Gigou 1982, Arrivets 1976, Pieri 1985) ont évalué les exportations minérales relatives au mil, sorgho, maïs, riz pluvial, cotonnier, arachide et soja. Les résultats obtenus sont très variables; parmi tous les éléments minéraux exportés par ces plantes, l'azote et le potassium sont les plus importants. Les quantités sont de l'ordre de 13 à 50 kg N et de 6 à 90 kg K₂O /ha/t de produit exporté. Cette variabilité est fonction des lieux et des conditions de réalisation de la culture.

Des résultats, obtenus au Sénégal (Ndiaye 1978), montrent qu'il y a une bonne relation entre les exportations minérales totales et les rendements de cultures du mil et d'arachide. Ces résultats sont en accord avec les observations faites par Gillie (1964) et par Pieri (1985). En conclusion, l'évaluation des exportations minérales réelles pour une culture pluviale, dans les conditions plus ou moins intensives pratiquées en zones arides et semi-arides, reste assez délicate.

b - Pertes minérales par érosion et ruissellement

Ces pertes ne sont pas négligeables et peuvent être en cas de mauvaise préparation du sol catastrophiques (Charreau 1969, Roose 1981). En Afrique de l'Ouest les pluies sont érosives car 3 à 60 fois plus agressives qu'en régions tempérées. Les pertes moyennes en éléments minéraux qui en résultent se situent dans les limites suivantes (Pieri 1985) :

C = 80 à 1900 kg/ha/an

N = 15 à 80 kg/ha/an

P = 3 à 30 kg/ha/an

K = 10 à 55 kg/ha/an

Ca = 15 à 70 kg/ha/an

Mg = 10 à 35 kg/ha/an

Si l'érosion des sols peut être à l'origine de graves problèmes écologiques, il faut cependant souligner son action de moindre importance du point de vue de l'équilibre minéral des sols (Nye et Greenland 1960). Par contre, en cas de fort ruissellement les pertes en matière organique peuvent être très élevées, la teneur en C des éléments fins transportés pouvant atteindre quatre fois celle du sol en place (Pieri 1985).

c- Pertes minérales par lixiviation

Si ces pertes sont généralement négligeables en climat aride, il n'en va pas de même dans les pays semi-arides et particulièrement dans les sols sableux cultivés qui occupent quelques millions d'hectares dans la région soudano-sahélienne. Les pertes minérales moyennes, mesurées en lysimètre au Burkina Faso et au Sénégal, sont les suivantes (Pieri 1985) :

N = 5 à 15 kg/ha/an

Ca = 40 kg/ha/an

Mg = 10 à 25 kg/ha/an

K = = 10 kg/ha/an

Les données des pertes minérales couvrent en fait une grande diversité de situations liées à la nature du sol, au régime hydrique de l'année, à la fertilisation et en définitive au type de culture (Pieri 1982, Gigou 1982, Chabalié 1983). Dans la majorité des cas, les pertes minérales ont été mesurées en cases lysimétriques ; or cette méthode déjà critiquable en elle-même (peu représentatif du milieu réel), est particulièrement mal adaptée aux zones semi-

arides où les alternances fréquentes d'humectation et de dessiccation ont un impact évident sur la dynamique de l'eau et des solutés dans le sol. Comme dans le cas des exportations minérales par les cultures, il est en fait nécessaire, connaissant les lois de distribution des paramètres de flux étudiés de déterminer l'échantillon minimum permettant de caractériser la lixiviation à un degré de précision connu. Au Sénégal, en sol très sableux, des études de ce type ont été conduites dans un champ d'arachide (Vachaud et al 1982) et dans un champ d'arachide et de mil (Cissé 1986). Les résultats obtenus ont montré que les pertes minérales étaient très variables (sous un drainage de 13 à 90 mm, à une profondeur de 1,90 m, 2 à 50 kg/ha de pertes en azote ont été obtenus).

II.4.2 - Les termes spécifiques du bilan azoté des sols

Le bilan azoté des sols cultivés est très complexe du fait de la dynamique propre de cet élément dans les agrosystèmes. Deux éléments essentiels pour la prise en compte dans un établissement de ce bilan sont d'une part les apports dus à la fixation biologique de l'azote atmosphérique et d'autre part, les pertes gazeuses en cet élément dans l'atmosphère.

II.4.2.1 - Fixation symbiotique

La quantité d'azote fixée par une légumineuse donnée en un lieu donné, varie très largement selon les conditions du milieu et surtout en ce qui concerne les zones arides et semi-arides en fonction de l'alimentation hydrique des cultures. Ganry et Wey (cités par Wetselaar et Ganry 1982) donnent pour différentes légumineuses cultivées au Sénégal, les valeurs suivantes de pourcentage d'azote absorbé provenant de la fixation symbiotique :

- 20 à 70% pour une même variété d'arachide,
- 0 à 60% pour un même cultivar de soja.

Ces valeurs sont essentiellement influencées, selon Ganry (1990), par les périodes de sécheresse, par la présence, ou non, dans les sols, d'azote minéral et/ou des souches efficaces de rhizobium.

II.4.2.2 - Pertes d'azote sous forme gazeuse

Ces pertes correspondent à deux processus : la dénitrification et la volatilisation (ammoniacale). Les pertes par dénitrification sont généralement considérées comme de faible importance (Greenland, 1962), mais pourraient atteindre en conditions défavorables de 30 à 40% de l'azote minéral dans le sol (sol acide et assèchement du sol) par une dénitrification chimique (Chabalier 1976). Les pertes par volatilisation peuvent être plus élevées dans le cas d'application d'urée en surface des sols sableux à faible C.E.C. Ganry et al (1978) ont mesuré au Sénégal des pertes gazeuses s'élevant à 45% de la quantité d'azote urée appliquée en présence de pailles enfouies : dans ce cas on a 40% de volatilisation et 5% attribués à la dénitrification. En conclusion, on peut retenir que les pertes de l'azote engrais sont réduites (0 à 10%) en zone de culture pluviale lorsque l'engrais est localisé, enfoui et apporté en début de végétation (après le pic de minéralisation) ou en début de montaison.

III - Conclusion

L'établissement des bilans azotés est complexe car on ne maîtrise pas tous les flux et nos outils (ou méthodes de quantification) sont encore insuffisamment performants (exemple de la quantification de la fixation de N_2 dans la biomasse racinaire). Cependant à l'heure actuelle grâce à la méthodologie ^{15}N , on peut quantifier deux des flux majeurs d'azote : le devenir de l'azote engrais et l'azote fixé. La grande variabilité dans les différents compartiments organiques du sol implique de connaître leur déterminisme afin d'en prévoir leur valeur quantitative. La modélisation de ces bilans devrait permettre d'estimer la variation des stocks organiques et minéraux des sols cultivés et d'établir un diagnostic d'évolution de la fertilité en particulier dans les zones semi-arides. Il apparaît enfin que le maintien de la fertilité azotée des sols passe impérativement par celui de leur statut organique.

DEUXIEME PARTIE
PRESENTATION DU MILIEU ET METHODES
D'INVESTIGATIONS

CHAPITRE II- PRÉSENTATION DU MILIEU

Le Sénégal se trouve à l'extrême Ouest de l'Afrique occidentale. Il est situé entre les latitudes 12°30' et 16°30' Nord.

I - Climat

De par sa situation géographique, le Sénégal abrite toutes les nuances du climat tropical de type soudanien. La conséquence fondamentale de cette position latitudinale est que l'agriculture y est sous la dépendance du climat ; d'une manière générale, ce climat se manifeste par l'alternance d'une saison sèche longue (7 à 9 mois) et d'une saison pluvieuse courte (3 à 5 mois). Schématiquement, on peut découper le Sénégal en trois zones caractéristiques :

- la zone Nord, depuis le fleuve Sénégal jusqu'à la latitude 14°46'N, se trouve sous la dominance d'un climat sahélien à sahélo-soudanien avec une longue saison sèche et une moyenne annuelle des précipitations variant entre 200 et 600 mm ;

- la zone Centre-Sud, marquée par un climat à caractéristique soudano-sahélienne avec des hauteurs de pluie comprises entre 600 et 900 mm et des pluies irrégulières. Les températures moyennes annuelles sont de l'ordre de 28°C. Les variations entre minima et maxima sont importantes et sont de l'ordre de 20°C. L'évaporation calculée par la formule de Piche est forte en saison sèche (10 mm/j) et est plus faible en saison pluvieuse (2-3 mm/j) ;

- la zone Sud est sous la dominance d'un climat que Brigaud (1965) a qualifié de tropical sud-soudanien avec des hauteurs de pluies de 900 à 1200 mm. Les températures moyennes sont de l'ordre de 27°C, les variations minima/maxima sont les plus

importantes de l'ordre de 30°C, l'évaporation est de 13 mm/j en saison sèche et de 3 mm/j en saison des pluies.

En plus de l'alternance des deux saisons, les variations inter-annuelles et intra-annuelles sont très importantes. La fréquence des déficits hydriques et l'irrégularité des pluies constituent donc des facteurs limitants essentiels pour la production agricole.

Le régime des vents est sous la dominance des alizés :

- vents secs continentaux venant de Nord-Ouest en saison sèche (harmattan) ;
- vents humides venant de l'Ouest et du Sud-Ouest, en hivernage, apportant les pluies.

II - Végétation

Comme pour le climat, la végétation obéit à une zonation qui se superpose avec celle du climat. Il faut signaler l'importance de l'action anthropique sur cette végétation rendant pratiquement impossible la reconstitution de la végétation climatique. Qu'elle soit naturelle ou cultivée, la végétation est influencée par les caractéristiques du sol, notamment par ses propriétés physiques. Inversement, elle exerce une action directe sur les propriétés des sols et le profil cultural et a une incidence sur les rendements agricoles des plantes qui lui succèdent.

- La zone Nord peut être subdivisée en deux sous zones en fonction de l'occupation humaine : la zone Nord-Ouest caractérisée par l'extension d'un tapis herbacé, parsemé de quelques espèces arborescentes notamment l'*Acacia Albida*, et la zone Nord-Est qui est moins exploitée et est essentiellement une zone de pâturage transhumant.

- La zone Centre Sud correspond à la zone climatique soudano-sahélienne et est couverte d'un tapis herbacé de graminées vivaces (sous *Combretum*).

- La zone Sud est recouverte par une forêt soudanienne, on y trouve mélangées à la flore soudanienne des espèces guinéennes.

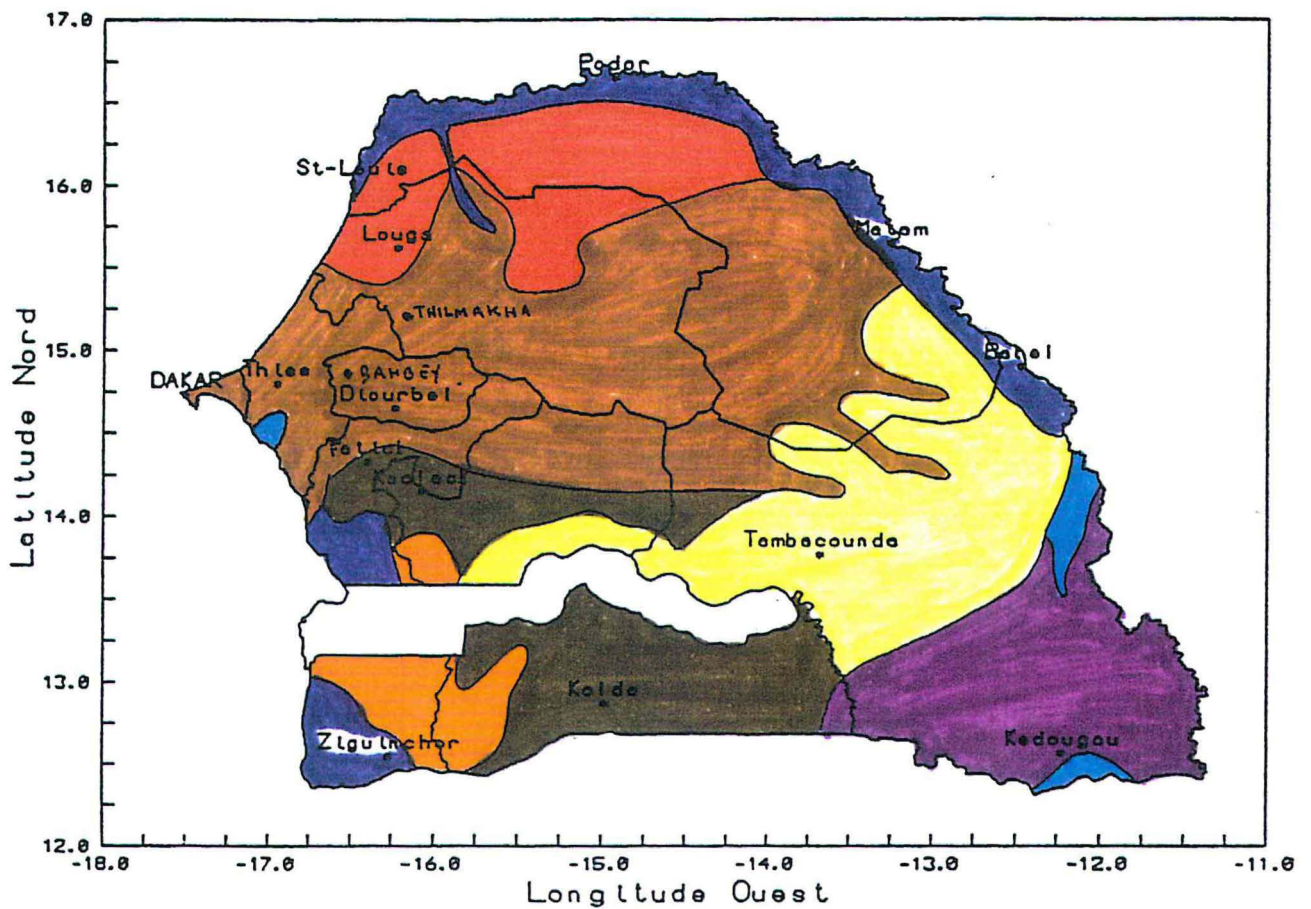
III - Géologie

Selon Bonfils et *al.* (1956), Maignien, 1965, et Brigaud (1965) le substrat géologique du Sénégal est relativement homogène; il s'agit de formations grés-argileuses qui se sont déposées à la fin du tertiaire et qu'on appelle "Continental terminal". Ces formations sont comprises entre les dépôts marins datés de l'Eocène inférieur et la latérite fin-Pliocène. Ces formations sont subdivisées en trois niveaux :

- Continental terminal inférieur ou "assise du Niero-Ko" avec des faciés gréseux et conglomératiques ;
- Continental terminal moyen dont les formations sont corrélées avec les formations marines de l'Eocène moyen ;
- Continental terminal supérieur corrélé avec les formations marines du mio-Pliocène. Il couvre la majeure partie du territoire Sénégalais et est constitué de grés sablo-argileux versicolores. Notre zone d'étude appartient à ce niveau.









IV - Les grands types de sols

Les grands types de sol décrits par Maignien (1965) sont présentés sur la carte des sols (fig. 1). Les sols sableux, qualifiés par Brigaud (1965) de sols bruns sub-arides en raison de l'homogénéité de la répartition de la matière organique dans le profil, sont



Echelle au 1/3.000.000

Figure 1 : Carte Pédologique simplifiée (Source Carte Pédologique - ORSTOM - P. MAIGNIEN, 1965)

- | | | | |
|---|--|---|---|
| 1 |  Sols alluviaux halomorphes et hydromorphes | 5 |  Ferrugineux tropicaux peu lessivés |
| 2 |  Vertisols lithomorphes sur marnes ou schistes | 6 |  Ferrugineux tropicaux lessivés |
| 3 |  Minéraux bruts et peu évolués | 7 |  Ferrugineux tropicaux lessivés avec concrétions ferrugineuses |
| 4 |  Bruns subarides ou bruns rouges sableux-colluviaux | 8 |  Sols ferrallitiques |

essentiellement représentés dans la zone septentrionale du Sénégal : ce sont les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés appelés localement sols "Dior" qui constituent 80% des sols cultivés. Dans les dépressions interdunaires, ces sols sont hydromorphes, plus proches de la roche mère basique et présentent une tendance verticale : ce sont les sols "Dek".

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés (rouges et beiges) sont essentiellement représentés sur les plateaux de la zone Centre-Sud, Sud et Est du Sénégal. Ici, le manteau sableux est remplacé par les grès détritiques du Continental terminal. Les sols sulfatés acides du littoral Sud-Ouest, les sols vertiques de la région du fleuve et le long des cours d'eau importants sont très peu représentés et sont fonction des conditions écologiques particulières.

En conclusion, on peut dire que la grande majorité des sols du Sénégal est représentée par les sols bruns sub-arides et les sols rouges et beiges de plateaux. L'unité de la roche mère est à l'origine de la grande homogénéité qui caractérise ces sols sur de très vastes étendues. Il est cependant intéressant de noter que les sols de versants et de bas fonds échappent à cette régularité, ce qui fait de la topographie un facteur naturel de différenciation pédologique.

CHAPITRE III- METHODES D'INVESTIGATIONS

I - Présentation des sites de Bambey et de Thilmakha

Les recherches dont les résultats sont présentés dans ce mémoire ont été réalisées à Bambey et à Thilmakha ; ces sites sont situés dans la zone Nord du Sénégal et dépendent respectivement des régions administratives de Diourbel et de Louga (figure 2).

Cette partie du Sénégal est une zone de cultures pluviales (arachide et mil principalement). Les surfaces cultivées annuellement sont de l'ordre de 900.000 ha qui se répartissent à peu près également entre l'arachide et le mil.

Les sols sont de type ferrugineux tropicaux peu lessivés (cf paragraphe IV du chapitre II) ; ils sont sableux et présentent un profil homogène de la surface jusqu'à plus de 4 m de profondeur. Leur fraction argileuse composée essentiellement de kaolinite présente une teneur de 2 à 3% et leur horizon humifère, peu différencié, présente une teneur en matière organique de 0,2 à 0,5%. Ces sols ont des capacités d'échanges cationiques très faibles comprises entre 1 et 3 milliéquivalents pour 100g de sol. Du fait de leur texture essentiellement sableuse, de leur composition minéralogique et de leur pauvreté en matière organique, ils ont un faible pouvoir tampon.

Les pluviométries relevées à Bambey (Sole III Nord) de 1971 à 1992 et à Thilmakha (Station expérimentale) de 1978 à 1992 sont respectivement présentées dans les figures 3 et 4 ; les données mensuelles sont présentées en annexes 1 et 2.

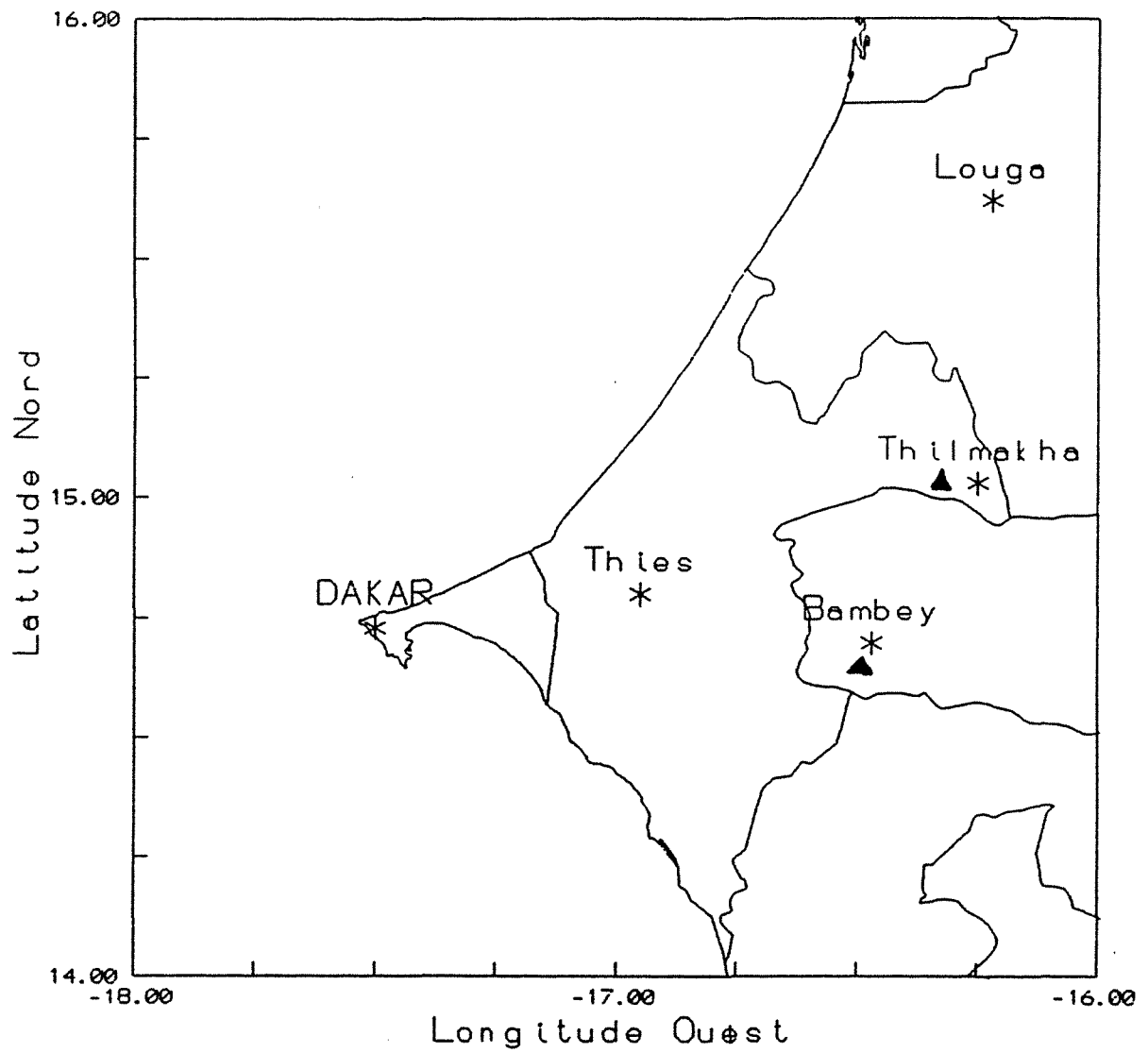


Figure 2 : Localisation des sites étudiés (▲)

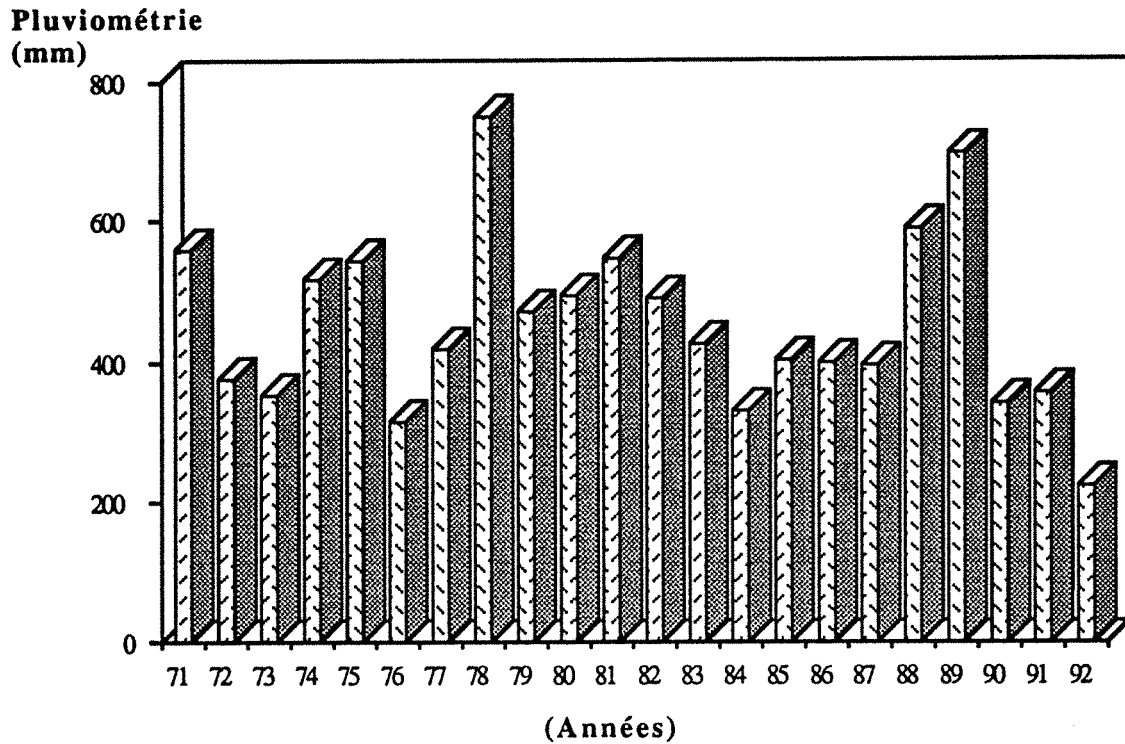


Figure 3 : Evolution de la pluviométrie à Bambeï (1971-1992)

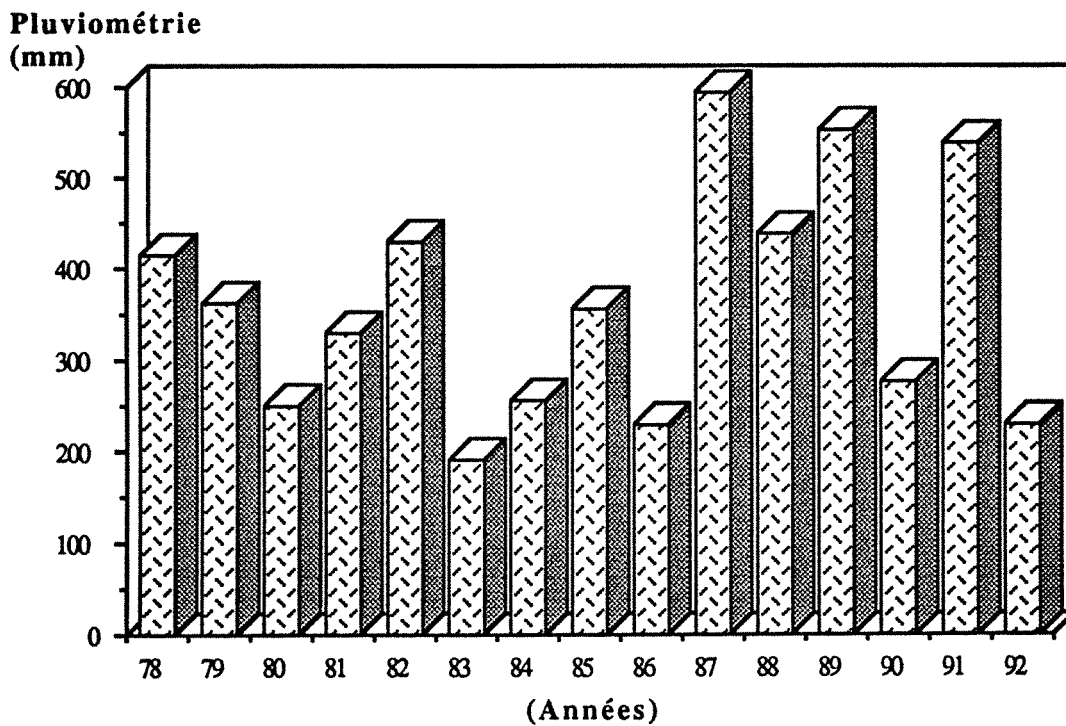


Figure 4 : Evolution de la pluviométrie (mm) à Thilmakha (1978-1992)

Les années relatives à notre travail (1990-1992) se caractérisent du point de vue pluviométrique par des pluies tardives et faibles (342, 356 et 225mm respectivement en 1990, 1991 et 1992 pour le site de Bambey et 500mm en 1991 pour celui de Thilmakha) par rapport à la moyenne des 20 dernières années (477 mm).

II - Dispositifs expérimentaux de base et conduites des cultures

II.1 - Essai travail du sol

L'essai a été mis en place en 1962 au Centre de Recherches Agronomiques de Bambey (Sénégal) sur un sol sableux dunaire par Nicou (1962). Le terrain en jachère herbacée ni travaillé, ni fertilisé était cultivé en mil en 1961. On y a étudié pendant 30 ans l'effet du labour du sol sec par la traction bovine (10-15 cm de profondeur) par rapport au semis direct, sur la production d'arachide et de mil, ainsi que l'évolution au cours du temps du sol et des rendements. La première synthèse a été effectuée par Chopart et Nicou(1989).

Les traitements sont les suivants :

A - travail du sol tous les 2 ans;

B - pas de travail du sol

C - travail du sol tous les ans;

et 3 répétitions en culture d'arachide.

Le dispositif comprend 9 parcelles de 50 m x 9 m formant des bandes contiguës. Les traitements, les rotations, les fumures et les variétés ont été légèrement modifiés entre 1962 et 1969. En 1970, l'essai a été subdivisé en deux séries, l'une restant en culture continue d'arachide, l'autre revenant à une succession arachide-mil.

Les parcelles ne font plus alors que 22 m x 9 m subdivisées en deux et les répétitions passent de 3 à 6 pour chaque traitement.

Depuis 1970, les paramètres essentiels du dispositif tels que le labour et les variétés n'ont pas été modifiés, ce qui a permis d'étudier les effets à long terme de la culture continue et du travail du sol. Cet essai constitue à l'heure actuelle une des expérimentations agronomiques les plus longues au Sénégal et même, semble-t-il, en Afrique tropicale.

La fertilisation appliquée chaque année au semis a été légèrement modifiée (pour s'adapter aux formules d'engrais ternaires NPK proposées par les services de vulgarisation). Les apports d'azote et de potasse sont presque constants tout au long de l'essai (environ 12 kg de N/ha et 45 kg de K₂O/ha). Seul le phosphore apporté à des doses fortes pendant 10 ans (75 kg P₂O₅/ha) pour redresser une carence initiale, a été diminué à partir de 1972 (30 kg P₂O₅/ha). Ceci correspond approximativement aux quantités d'éléments minéraux absorbés par l'arachide. Les différents traitements de préparation du sol ont toujours reçu une même dose d'engrais même si celle-ci était modifiée dans le temps

Les vingt dernières années, l'arachide (variété 73-30 d'un cycle de 90 jours) a été utilisée et semée en traction motorisée avec un écartement entre les lignes de 0,45m et sur la ligne de 0,15m. Le mil (variété Souna III de 90 jours) est semé manuellement en poquets à la densité de 0,9m x 0,9m.

II.2 - Essai "courbe de réponse au fumier"

Cette expérimentation a été mise en place en 1978 à Thilmakha (région Centre-Nord) en vue d'étudier l'effet à long terme d'un

apport annuel de matière organique (fumier) par le labour sur la régénération d'un sol sableux dégradé et d'en mesurer les effets sur l'arachide et le mil. Depuis son origine, le dispositif expérimental est constitué de 2 séries de 8 blocs de Fisher comprenant chacun 5 traitements complètement randomisés :

- T1 = Témoin
- T2 = Apport de 1t M.S/ha/an
- T3 = Apport de 1t M.S/ha/an +200kg/ha de CaO tous les 4 ans
- T4 = Apport de 2t M.S/ha/an
- T5 = Apport de 3 tM.S/ha/an.

En 1983, le traitement T3 a été modifié en y apportant 4t M.S de fumier/ha/an. Les parcelles élémentaires ont pour dimensions $7,2\text{m} \times 9\text{m} = 64,8 \text{ m}^2$. Les séries sont cultivées en rotation arachide-mil. Aucune culture n'est répétée deux fois sur la même parcelle. Le labour est réalisé en sec à la traction bovine (10-15 cm de profondeur environ) ; l'apport de fumier sec (10% d'humidité environ) est fait sur la culture d'arachide et de mil.

L'arachide (variété 55-437: variété hâtive de 90 jours, type spanish à port érigé) est utilisée. Au semis, le mil reçoit 10 kg N/ha, 21 kg P_{205} /ha et 21 kg K_{20} /ha. Signalons que la fumure minérale est apportée au semis sur tous les traitements. Les façons culturales telles que le sarclo-binage et la protection phytosanitaire, sont assurées selon les recommandations en vigueur.

La seule différence existante entre l'expérimentation de Bambey et celle de Thilmakha est l'apport de fumier à Thilmakha.

III - Mesures et expérimentations spécifiques

III.1 - Choix des traitements

Les deux expérimentations citées ci-dessus jouent un rôle clé au sein des services de recherches dans la zone Centre-Nord du Sénégal car elles représentent des référentiels techniques pour l'étude des systèmes de culture continue avec (Thilmakha) et sans apports de matière organique (Bambey).

Dans l'impossibilité de prendre en compte l'ensemble des traitements de ces dispositifs expérimentaux, nous avons procédé à un choix de traitements contrastés.

Les traitements retenus dans le premier dispositif "travail du sol" à Bambey sont les suivants :

Série I (monoculture d'arachide) et Série II (rotation arachide-mil)

T1 = Témoin sans labour

T2 = Labour tous les 2 ans : ce traitement caractérisé par un labour tous les 2 ans est proche de la pratique paysanne au Sénégal où le labour annuel constitue une contrainte pour l'agriculteur.

A Thilmakha, deux traitements ont été choisis :

T1 = Témoin sans apport de fumier

T2 = Avec apport de 4t/ha/an de fumier

Une seule série a été retenue parmi les deux existantes.

Le choix de ces traitements a été dicté par les résultats obtenus au cours des 20 et 10 dernières années respectivement à Bambey et à Thilmakha. Des différences significatives de rendements ont été obtenues entre les traitements choisis dans les deux dispositifs.

Ces différences nous ont conduit à approfondir nos connaissances sur la forme, le rôle et le devenir de la matière organique encore présente, dans le sol après ce nombre d'années de culture sans restitutions (cas de Bambey) et avec apport (cas de Thilmakha). On peut particulièrement se demander si le taux de matière organique est stabilisé ou si l'on se dirige inéluctablement vers une disparition du carbone de ce sol très sableux. Cette situation nous a permis dans le cadre de ce mémoire d'étudier le statut organique de ces sols après plusieurs années de culture.

III.2 - Mesures réalisées

Une caractérisation physico-chimique des sols soumis aux traitements prélevés en pleine saison sèche a été effectuée en 1987 (Tableaux 1 et 2).

En 1988-1989, une évaluation des ressources en matières organiques disponibles en milieu rural a été effectuée dans deux villages représentatifs de la zone Centre-Nord et les conséquences de ces ressources (ou de leur absence) sur la fertilité actuelle des sols. Une fiche "enquête" avait été établie auparavant pour le déroulement de l'étude (annexe 3). En 1990-1991, l'utilisation d'un fertilisant marqué au ^{15}N sur ces dispositifs de longue durée a permis d'étudier l'influence des techniques culturales sur le bilan azoté sol-plante. L'azote immobilisé dans le sol (NiS) a été déterminé jusqu'à une profondeur de 1m50. D'après Chopart (1980), cette cote serait la limite du front racinaire de l'arachide dans les sols sableux de la zone Centre-Nord ; cette même cote sera utilisée pour le mil dans les mêmes sols car l'essentiel de son

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques des sols de Bambey

		Granulométrie %			C	N	P. total	P. assimilable (Olsen)	Ca	Mg	Na	K	S	T	S/T
Traitements	pHeau	A	L	S	%o		ppm		meq/100g						%
Culture Continue+ labour	5,50	2,89	1,17	95,50	1,33	0,15	98	57,50	0,55	0,19	0,01	0,08	0,83	1,08	77
Culture continue-labour	5,61	3,04	0,90	96,00	1,66	0,16	110	61,30	0,67	0,21	0,01	0,09	0,98	1,10	89
Rotation+labour	5,50	2,70	1,20	95,20	1,48	0,16	105	58,50	0,51	0,22	0,01	0,07	0,81	1,01	80
Rotation-labour	5,75	3,50	2,20	94,30	1,69	0,14	115	65,50	0,67	0,24	0,01	0,08	1,00	1,15	86

31

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques des sols de Thimakha

		Granulométrie %			C	N	P. total	P. assimilable (Olsen)	Ca	Mg	Na	K	S	T	S/T
Traitements	pH eau	A	L	S	%o		ppm		meq/100g						%
Sans fumier	5,41	2,90	2,10	95,00	1,40	0,14	80	22	0,49	0,16	0,03	0,06	0,74	0,99	74
Avec fumier	5,72	3,50	2,50	93,50	1,82	0,18	83	35	0,73	0,18	0,01	0,20	1,12	1,30	87

enracinement est localisé sur les 80 premiers centimètres du profil (Chopart et Nicou 1971).

Pour cette quantification du NiS, on a mesuré les densités apparentes à l'aide de cylindres de volume égal à 250 cm³. Les différentes fractions azotées du sol ont été déterminées par hydrolyse acide (Stewart et al. 1963). Les résultats obtenus en 1990 ont permis d'étudier en 1991-1992 (1) le coefficient K₂ ou taux de perte annuelle de la matière organique du sol en nous appuyant sur les caractérisations de 1978 et 1987 (2) les coefficients de minéralisation et d'organisations brutes de l'azote (3) l'évaluation du carbone de la biomasse microbienne.

IV - Méthodes d'analyses

IV.1 - Analyse physique et chimique des sols et des plantes

IV.1.1 - Analyse granulométrique

Elle est faite sur des échantillons de 20g de sol tamisé à 2 mm. La matière organique du sol est détruite par traitement à l'eau oxygénée et à chaud. La destruction des agrégats par dispersion est réalisée avec du pyrophosphate de sodium. Les fractions fines (argiles et limons) sont séparées par sédimentation et les sables par tamisage sur des tamis normalisés.

IV.1.2 - Méthodes d'analyses chimiques des sols et des plantes

Le carbone organique est dosé selon la méthode de Wakley-Black 1965 (oxydation par le bichromate de potassium et dosage

volumétrique du bichromate en excès). La prise d'échantillon est modulée selon la teneur présumée en carbone entre 0,5 et 5g.

L'azote total du sol est déterminé par la méthode Kjeldahl (Bremner, 1965) sur une prise d'échantillon d'un gramme .

Les bases échangeables et la CEC sont dosées par la méthode de cobalti-hexamine (Fallavier et *al.*, 1985).

L'aluminium échangeable est extrait au KCl 1N et dosé par colorimétrie automatique à l'éryochrome de cyanine.

Le phosphore total est dosé par colorimétrie au phosphomolybdate d'ammonium après une attaque fluoroperchlorique. Le phosphore assimilable est déterminé par la méthode Olsen modifiée Dabin (1956).

L'azote total des plantes est dosé après une attaque Kjeldahl (oxydation à l'aide de l'acide sulfurique et d'eau oxygénée en présence de sulfate de sodium comme catalyseur) d'une prise d'échantillon de 150 mg de poudre végétale préalablement séchée pendant environ 2 h à 80°C (Bremner, 1965).

Le phosphore est déterminé par colorimétrie automatique; le potassium par émission de flamme, le calcium et le magnésium par absorption atomique (Fallavier et *al.*, 1985).

IV.1.3 - Méthode de fractionnement de l'azote par hydrolyse acide

Le fractionnement des formes organiques de l'azote se fait par la méthode de Stewart et *al.* (1963), modifiée par Decau (1968) et par Egouménides et *al.* (1987). Un mélange de sol et d'acide chlorhydrique 6N est porté à ébullition à reflux pendant 16 heures. La prise d'essai est de 20 grammes de sol auxquels on ajoute 60 ml

d'acide chlorhydrique 6N. L'hydrolysate est ensuite passé à la centrifugeuse à 3 reprises afin de bien rincer la fraction non hydrolysable constituée par le culot, le surnageant est recueilli dans une fiole et ajusté à 200 ml.

Sur ce surnageant, on effectue une distillation après alcalinisation du milieu par NaOH et ensuite un dosage acidimétrique. Cette fraction constitue la fraction hydrolysable (Nhd) ou fraction "azote ammoniacal". Par différence entre l'azote total de l'hydrolysate (Nht) obtenu par minéralisation Kjeldahl et Nhd, on obtient l'azote de la fraction hydrolysable non distillable (Nhnd) appelée "azote aminé". La fraction non hydrolysable, sous forme de culot, est mise à sécher à l'étuve à 60°C pendant 24 heures. Une fois séchée, elle subit une attaque Kjeldahl et on dose l'azote qu'elle contient par titration après déplacement de l'ammonium par la soude 6N et entraînement à la vapeur par distillation. Cette fraction d'azote est appelée azote non hydrolysable (Nnh).

L'hydrolyse acide permet donc de définir trois formes d'azote organiques :

- une forme "ammoniacale" (Nhd)
- une forme "aminée" (Nhnd)
- une forme "non hydrolysable" (Nnh)

Ce fractionnement a été fait sur les échantillons de sol des "essais travail du sol" et "courbe de réponse au fumier".

IV.2 - Méthodes biologiques : incubation en aérobiose

IV.2.1 - Méthodes de quantification des mécanismes de minéralisation et d'organisation de l'azote

A une quantité de sol de 100 g (horizon 0-30 cm) de chaque traitement des deux dispositifs, séché à l'air et tamisé à 2mm, placée dans un Erlenmeyer de 250 ml, nous avons apporté 50 ppm d'azote sous forme de $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ présentant un excès isotopique de 10%.

Après humectation à 80% de la capacité au champ, les échantillons de sol sont mis à incuber à l'obscurité à une température de $28^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 15 et 30 jours. Chaque traitement comporte 4 répétitions. Le témoin n'a pas subi d'incubation.

L'azote minéral et organique est déterminé par les techniques décrites ci-dessus.

IV.2.2 - Mesure de la biomasse microbienne

Des échantillons de sol frais (horizon 0-30 cm) de poids équivalent à 50g de sol sec ont été fumigés selon la technique de Jenkinson et Powlson(1976) adaptée par Chaussod et Nicolardot (1982). Après avoir ramené l'humidité à 80% de la capacité au champ, l'incubation des sols fumigés a été conduite pendant 7 et 14 jours dans des flacons de 1 litre de contenance, hermétiquement fermés selon le dispositif décrit par Jenkinson et Powlson (1985). La température retenue au cours de l'incubation était de $30 \pm 2^\circ\text{C}$. Le CO_2 dégagé a été piégé journallement dans 10 ml de NaOH (0,5N) puis dosé en totalité par titrimétrie avec du H_2SO_4 (0,1N) en présence de 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine (transformation du carbonate en bicarbonate) et ensuite en présence de quelques gouttes de vert de bromocrésol (transformation du bicarbonate en acide carbonique). La biomasse sous forme de carbone a été ainsi calculée en divisant le carbone dégagé au cours du flush par un coefficient $K_c = 0,04$ (Nicolardot et al., 1984).

Il faut noter que le flush est calculé par rapport au CO₂ dégagé par le sol pendant les 7 jours suivant la fumigation et 7 jours après (Chaussod et Nicolardot 1982).

Nous avons étudié cette biomasse microbienne à 3 époques : à la fin de la saison sèche, 15 jours après semis et à la récolte, dans les deux dispositifs, pour suivre l'évolution saisonnière.

IV.3 - Méthodes isotopiques

IV.3.1 - Méthodologie d'étude

Les techniques et méthodologies isotopiques utilisées sont celles développées à l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique (AIEA) à Vienne par Fried (1975) et au C.E.N de Cadarache en France par Guiraud (1984).

Guiraud (1984) a rappelé certaines définitions de la :

- teneur (ou abondance) et excès :

$$\text{teneur en \%} = \frac{\text{Nombre d'atomes } ^{15}\text{N}}{\text{Nombre d'atomes } ^{14}\text{N} + ^{15}\text{N}} \times 100 = T\%$$

- teneur naturelle = 0,366 % = T.N %
- excès isotopique E % = T % - T.N %

L'utilisation de techniques isotopiques (¹⁵N), sous différentes modalités (Guiraud 1984, Ganry 1990, Sedogo 1993), a aussi permis d'étudier le bilan de l'engrais azoté dans un système sol-plante. Dans un système recevant de l'engrais enrichi en ¹⁵N on a la possibilité de distinguer l'azote venant de l'engrais de l'azote venant du sol.

Par exemple, si on fait pousser une plante sur un sol ayant seulement l'abondance naturelle en ^{15}N désigné par a , et si on ajoute un engrais marqué ayant une abondance A_e , la quantité d'azote Q_N , avec une teneur moyenne en azote $^{15} A_{pl}$ exportée par la plante, représente la somme des quantités d'azote " x " venant de l'engrais et " y " venant du sol :

$$- \text{ on a : } Q_N = x + y$$

la quantité de ^{15}N dans la plante va être :

$$Q_N * A_{pl} = (x * A_e) + (y * a)$$

en remplaçant y par $Q_N - x$ on obtient :

$$Q_N * A_{pl} = x * A_e + (Q_N - x) * a$$

d'où $x = Q_N(A_{pl} - a)/A_e - a$

en remplaçant $(A_{pl} - a)$ par E_{pl} et $(A_e - a)$ par E c.a.d l'excès isotopique de la plante et de l'engrais, on a :

$$x = Q_N * E_{pl}/E \quad \text{et} \quad y = Q_N * (1 - E_{pl}/E)$$

** Le coefficient réel d'utilisation d'un engrais (CRU) est le pourcentage d'azote de la plante provenant de l'engrais par rapport à la quantité d'azote apportée par l'engrais :

$$\text{CRU}\% = (Q_N * E_{pl}/F * E) * 100$$

Q_N = quantité d'azote dans la plante

F = quantité d'azote de l'engrais apporté

** L'azote dérivé de l'engrais : Nitrogen derived from fertilizer"Ndff%) est le pourcentage d'azote dans la plante provenant de l'engrais apporté

$$\text{Ndff}\% = x/Q_N * 100$$

nous avons vu précédemment que la quantité d'azote en provenance de l'engrais " x " était donnée par la formule :

$$x = Q_N * E_{pl}/E$$

$$\text{donc } N_{dff}\% = E_{pl}/E * 100$$

Cette formule est très simple et nécessite seulement la mesure de l'excès isotopique de la plante et celui de l'engrais apporté.

L'azote engrais retrouvé dans le sol (NiS%) se calcule de façon identique. La quantité d'azote du sol est calculée horizon par horizon, d'où la nécessité de connaître la densité apparente du sol correspondant à chaque horizon. La somme des pourcentages de l'azote engrais absorbé par la plante (CRU des parties aériennes) et celui immobilisé dans le sol permet d'estimer quantitativement l'efficacité réelle de l'engrais azoté (NiSP) définie par Ganry (1990).

$$\text{Efficacité réelle de l'engrais} = \text{CRU}\% + \text{NiS}\%$$

Quelques difficultés surgissent pour l'établissement de cette efficacité réelle :

- la première est la mesure de la densité racinaire pour une profondeur donnée ; les résultats obtenus sur mil (Chopart 1980) et sur maïs (Charreau 1971) ont permis de faire des estimations ;

- la deuxième est de connaître la capacité des systèmes racinaires à utiliser les éléments minéraux en profondeur, en particulier l'azote minéral.

IV.3.2 - Techniques analytiques

IV.3.2.1 - Dosage chimique

Le dosage de l'azote se fait par minéralisation Kjeldahl (incluant la réduction des nitrates), entraînement à la vapeur et dosage en retour après piégeage de l'acide en excès. Pour éviter des pollutions, une unité d'entraînement "tout verre" a été utilisée et nous avons effectué un rinçage abondant au méthanol entre les séries homogènes d'échantillons.

IV.3.1.2 - Dosage isotopique

Une partie des dosages a été réalisée dans le laboratoire d'analyses de sol et de plantes de Seibersdorf (AIEA) à Vienne et l'autre partie au laboratoire du C.N.R.S à Lyon (France). Le dosage isotopique se fait sur l'azote gazeux N_2 obtenu par le procédé suivant :

- on transforme l'azote organique de la plante en N_2 par minéralisation suivant la technique de Dumas. A l'AIEA, la détermination de la teneur isotopique est faite avec un spectrophotomètre d'émission type NOI-6e fabriqué à Leipzig (ex RDA), son utilisation ne nécessite pas la mise sous vide, et il peut doser des teneurs proches de la teneur naturelle. Les quantités d'azote dosées peuvent varier de $0,2\mu g$ à $20\mu g$ avec une précision de $0,005\%$; avec cet appareil l'azote gazeux est obtenu à partir de l'extrait kejldahl et la solution d'hypobromite de sodium. Sur les échantillons de sols faiblement marqués au ^{15}N , la détermination de leurs excès isotopiques a été faite avec un spectrophotomètre à double introduction (A.I.E.A, 1990). Les analyses isotopiques des échantillons de sols incubés ont été effectuées à Lyon avec un spectrophotomètre de masse.

IV.3.3 - Avantages et inconvénients de l'utilisation de l'azote marqué

L'utilisation du traceur azote 15 dans les systèmes sol-plante permet de quantifier le pourcentage en azote engrais dans l'échantillon étudié (NdfF%).

Comme l'a souligné Guiraud (1984), avec seulement 3 répétitions, le coefficient de variation des résultats du dosage N total dans les sols et végétaux par la méthode Kjeldahl se situent aux alentours de 2 à 3%. Le coefficient de variation des dosages isotopiques est encore plus faible (< 2%). Il en résulte que la principale source d'erreur proviendra de la variabilité des essais agronomiques: variabilité spatiale et erreur expérimentale.

TROISIEME PARTIE
EVALUATION DES RESSOURCES ORGANIQUES

CHAPITRE IV- EVALUATION DES RESSOURCES ORGANIQUES DISPONIBLES EN MILIEU PAYSAN DANS LA ZONE CENTRE- NORD DU SENEGAL

I - Introduction

La nécessité de restituer la matière organique, pour le maintien ou la restauration de la fertilité des sols conduit à estimer les quantités disponibles en milieu paysan des différents types de résidus agricoles.

Le recensement et l'estimation des matériaux organiques disponibles faisant l'objet de cette enquête effectuée dans la région de Thiés-Diourbel font suite à un travail précédemment réalisé il y a une dizaine d'année dans cette même région (Allard et *al.*, 1982). Deux villages de la zone Centre-Nord du Sénégal ont été les lieux de cette étude : Ndiansil-Séssène et Ndiémane. Les caractéristiques de ces villages figurent dans l'annexe 4. Toutes les informations obtenues sont relatives à la quantification des productions végétales et animales et à leurs utilisations. Un effort constant de rigueur a cependant été fourni au niveau de l'échantillonnage, des pesées et de l'évaluation de la matière sèche.

II - Production et utilisation des résidus de récolte

II.1 - Production des résidus

Les tiges de mil, la fane (paille) d'arachide et l'herbe de la jachère constituent l'essentiel des matières restituables au sol après généralement une transformation par l'animal. Les résidus de battage de mil et la coque d'arachide représentent des quantités

beaucoup plus limitées. Dans les deux villages étudiés, on a pu identifier et quantifier les différents types de résidus restituables :

- la fane d'arachide est considérée comme un excellent fourrage ; elle est systématiquement et totalement récoltée,

- les tiges de céréales cultivées : parmi celles-ci, le mil prédomine largement ; ils sont utilisés en partie pour les habitations,

- l'herbe de la jachère: 50 à 65 % des surfaces existantes sont récoltées,

- enfin l'herbe de la jachère courte est intégrée dans l'assolement en rotation avec l'arachide et le mil.

Les quantités de matière organique disponible pour une utilisation essentielle sont déterminées d'une part par *les quantités produites* et par *les contraintes de collecte* et par *les contraintes de stockage* d'autre part. Les quantités de pailles de mil produites se situent entre 0,8 et 1,9 t/ha en 1988 et sont légèrement inférieures à celles produites dans la même zone en 1978 de 1,5 à 2 t/ha (Allard et al. 1982). Cette baisse est consécutive à la sécheresse. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Pichot (1974) qui estime respectivement à 1,5-2,5 t/ha, 2-7 t/ha et 2-4 t/ha les productions de pailles de mil, sorgho et de maïs dans les systèmes agricoles à faibles intrants en zone inter-tropicale. Quant aux fanes d'arachides, la quantité produite est de l'ordre de 0,8 à 1 t/ha, elle est entièrement récoltée alors que les tiges de mil et les herbes de jachères sont récoltées à raison de 50 à 65 % en fonction des besoins des paysans. Le problème fondamental qui se pose aux paysans est le lieu de stockage.

II.2 - Utilisation des résidus

Les résidus de récolte servent dans l'habitat et constituent une ressource fourragère pour les animaux. Une bonne partie de la production est très largement utilisée dans les toitures et les "tapades" qui constituent les parois des cases et les enclos des habitations. Les tiges de mil sont les plus utilisées et les quantités utilisées dans les deux villages sont de l'ordre de 0,6 à 1,5 t/ha de matière sèche par exploitation. En ce qui concerne l'alimentation du bétail, les fanes d'arachide, les tiges de mil et les herbes de jachère constituent les principales ressources fourragères pendant la saison sèche tandis que pendant la saison pluvieuse, l'alimentation des animaux est assurée essentiellement par les parcours et les jachères longues. A quelques exceptions près, la quasi-totalité (96 %) de la production des fanes d'arachide sert à l'alimentation des animaux présents dans les exploitations. A Ndiamsil-Sésséne et à Ndiémane, la quantité de paille utilisée pour l'alimentation des animaux varie respectivement en moyenne de 1,8 à 3,2 t et de 1,2 à 3,5 t par exploitation. Les quantités de pailles utilisées pour les usages domestiques figurent dans l'annexe 5.

III - Production et utilisation de la matière organique d'origine animale

Une régression très importante des jachères a été enregistrée dans la zone Centre-Nord du Sénégal au cours de cette dernière décennie. Cette situation pose un problème de pâturage pour les troupeaux obligeant ceux-ci à transhumer, ce qui ne se produisait pas naguère. Actuellement, les jachères dans la zone Centre-Nord représentent 6

à 7 % de la surface totale cultivable estimée à 900.000 ha . Pourtant, on assiste à une augmentation du cheptel, notamment bovin, dans les villages malgré les problèmes inhérents à l'alimentation.

III.1 - Gestion et production de fumier

Le fumier ramassé au champ par les paysans des deux villages est constitué de déjections de bovins, ovins et chevaux. Une autre partie provient du lieu de stabulation des animaux dans les exploitations. Après balayage de l'aire de stabulation, le fumier est mis en tas. Il est soit transporté au champ dès que la quantité est suffisante, soit accumulé pendant un certain temps. Le stockage se fait en tas à l'air libre. Les quantités de fumier produites dans les deux villages sont très variables et s'établissent entre 0,75 et 6,5 t par exploitation (Annexe 6).

Le fumier produit est un fumier non composté, constitué d'un mélange de déjections et de pailles. Ses caractéristiques physico-chimiques figurent dans le tableau 3. Les résultats indiquent les valeurs moyennes de 5 échantillons de fumier analysés assorties de l'écart type de la moyenne. La valeur fertilisante du fumier produit en milieu rural varie selon sa nature et diminue rapidement dans le temps en raison de l'action des termites et le dessèchement par le soleil d'où la nécessité de procéder aux techniques de compostage. Celles ci permettent d'améliorer le fumier produit en vue d'une fertilisation organique plus efficace.

Tableau 3 Caractéristiques physico-chimiques du fumier

Caractéristiques		Nature du fumier			
		Bovins	Cheval	Ovins	Mélange
C	%	34,3 ± 8,5	29,7 ± 5,5	29,7 ± 6,8	33,0 ± 10
N	%	1,2 ± 0,3	1,2 ± 0,2	1,3 ± 0,4	1,5 ± 0,3
C/N	%	27,4 ± 2,2	23,8 ± 4,8	22,4 ± 6,6	22,5 ± 4,6
P205	%	0,6 ± 0,1	0,5 ± 0,02	0,5 ± 0,01	0,5 ± 0,02
K2O	%	0,3 ± 0,01	0,7 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,4 ± 0,01
Ca	%	1,5 ± 0,3	1,5 ± 0,2	3,6 ± 0,5	1,2 ± 0,2
Mg	%	0,7 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,7 ± 0,08	0,5 ± 0,03
Cendres	%	34 ± 4,1	42 ± 8,1	41 ± 6,3	40,4 ± 8,5

III.2 - Utilisation

Les résultats obtenus ont permis de constater que près de 60 % des parcelles paysannes reçoivent environ 1 t/ha de fumier et que seulement 40 % reçoivent des doses comprises entre 2 et 4 t/ha. Il faudra noter qu'une quantité assez importante de déjections bovines est utilisée comme combustible dans les deux villages étudiés. Cette faible production de fumier a conduit les paysans à deux types de gestion :

- l'une consiste à disperser les apports sur un grand nombre de parcelles. C'est l'épandage annuel en "tâche",

- l'autre type d'apport, moins fréquent est pratiqué par certains paysans qui préfèrent concentrer les épandages de fumier sur seulement certaines parcelles mais en grande quantité.

La principale culture vivrière qui bénéficie le plus fréquemment de la fumure organique est le mil. (fig. 5). Considérant l'ensemble des deux villages, les champs de "case" reçoivent plus particulièrement des grosses quantités de fumier non évaluées comparés aux champs de "brousse" dits champs traditionnels qui constituent 90% des surfaces cultivables de la zone Centre-Nord.

IV - Conséquences sur la fertilité des sols

La matière organique d'origine végétale et animale produite en milieu paysan est utilisée presque en totalité. Et quel que soit le mode d'utilisation, on constate une exportation quasi-intégrale des résidus des champs vers les zones d'habitations. Ce transfert s'effectue par l'intermédiaire des animaux et des hommes.

Nous avons essayé de déterminer les conséquences que peuvent avoir de telles pratiques sur le niveau de fertilité de ces types de champs rencontrés dans toute la zone Centre-Nord du Sénégal. Sur une vingtaine de champs, des analyses ont été effectuées sur des échantillons de sol des horizons de surface. Les résultats sont consignés dans le tableau 4.

On observe que les champs de "case" présentent des taux de carbone et d'azote élevés et un complexe absorbant bien pourvu en calcium. Quant aux champs dits traditionnels ou champs de brousse, les cultures continues avec une fertilisation organo-minérale très faible ont entraîné une dégradation de leur fertilité. Ceux-ci sont

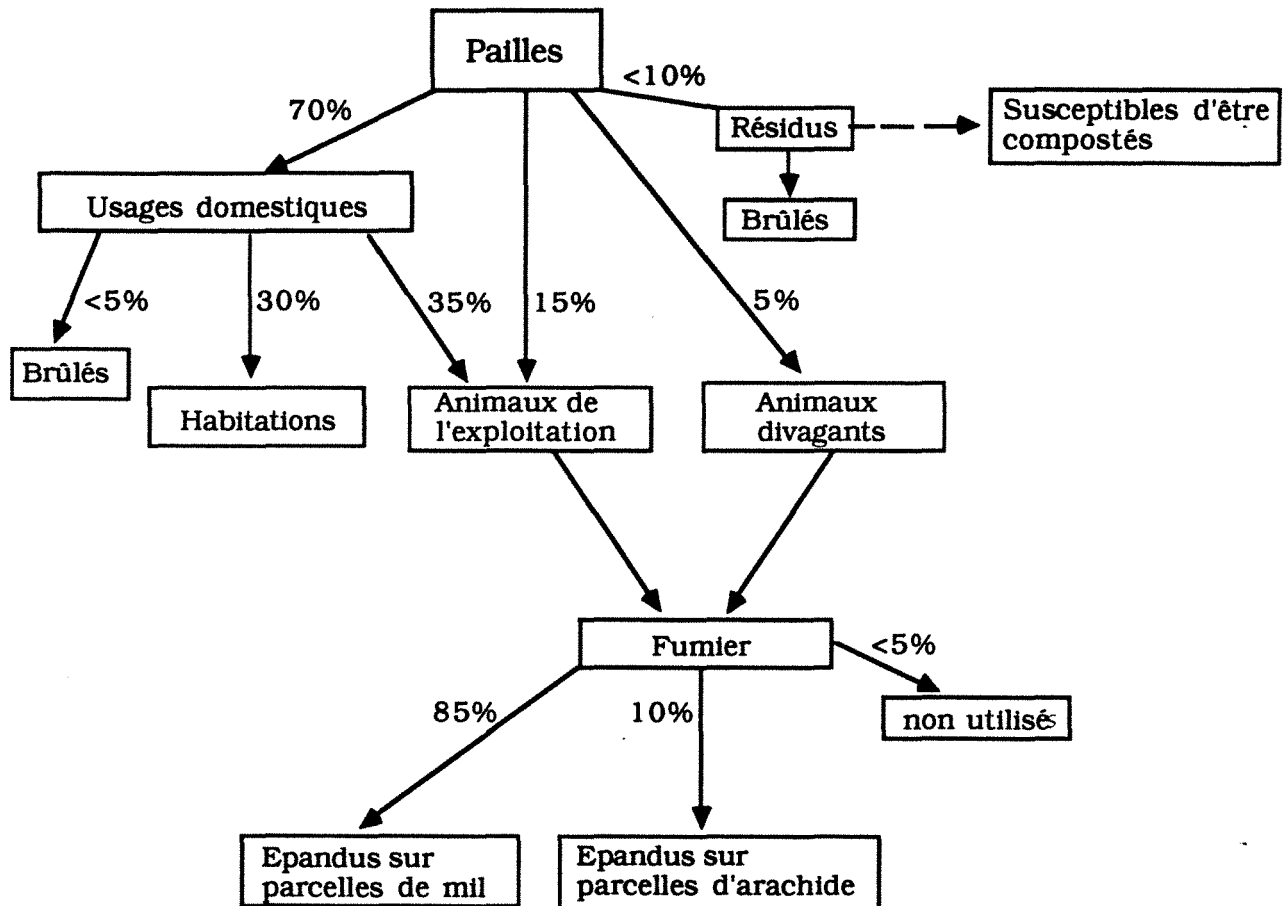


Figure 5 : Schéma d'ensemble d'utilisation des pailles et du fumier produits dans les deux villages étudiés

Tableau 4 : Principales caractéristiques des champs en milieu paysan

	Champs de case	Champs de brousse	C.V. %
Caractéristiques			
pH	6,7 a	5,4 b	6
Granulométrie (%)			
Argiles	3,5	2,5	13,2
Limons	3,3	3,1	11,3
Sables	92,4	93,8	8,5
C ‰	1,6 a	1,2 b	9
N ‰	0,14	0,12	17
C/N	11,5	10,0	
P. total (ppm)	100 a	58 b	8,5
P. assim. (ppm)	30 a	8 b	18
Complexe absorbant (meq/100g)			
Ca	1,72 a	0,85 b	5,2
Mg	0,50 a	0,25 b	9,4
K	0,6 a	0,6 a	12
C.E.C	2,86 a	1,85 b	14
S/T (%)	saturé	75	
Rendements * en M.S (kg/ha)	833 a	500 b	19

Les valeurs affectées d'une même lettre sur une même ligne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % (Newman et Keuls)

*Ces valeurs, concernant la production de mil, ont été évaluées lors de l'enquête.

caractérisés par une faible teneur en matière organique, un pH bas et une faible teneur en bases échangeables d'où une faible C.E.C. et présentent des rendements en céréales plus faibles variant entre 400 et 500 kg/ha.

Ces processus de dégradation des sols dans le cadre d'une agriculture en zone tropicale sèche à faibles intrants, ont été souvent décrits en particulier par Nye et Greenland (1960), Charreau (1972), Sanchez (1976), Sedogo (1981) et Pieri (1989).

V - Conclusion

Ces résultats obtenus en milieu paysan montrent combien les difficultés sont grandes pour un maintien d'un équilibre au niveau de la fertilité des sols. Comme dans toutes les études effectuées dans la zone tropicale Ouest Africaine (Sédogo, 1981, Allard et al 1982, Sagna-Cabral 1989 et Badiane et al 1990), on assiste à un transfert de fertilité des zones éloignées vers les champs les plus proches des villages. Malheureusement ce phénomène ne fait qu'accroître la dégradation de la fertilité des sols incluant une perte de leur aptitude de régulation notamment de leur pouvoir tampon ; ceci est sans aucun doute le problème agricole actuel qui menace le plus gravement l'augmentation de la production agricole.

Ces résultats montrent que la quantité de matière organique produite dans cette zone est faible mais une gestion rationnelle pourrait être mise en oeuvre en répartissant judicieusement cette production entre les usages domestiques et le recyclage organique par le biais du compostage et des fosses fumières. Ces types d'utilisation de la matière organique dans les systèmes à faibles intrants sont primordiaux pour un maintien durable de la fertilité

des sols dans des zones caractérisées par une agriculture *minière* avec *peu d'intrants* et un espace *cultivable saturé*.

En plus des ressources organiques existantes, d'autres sources azotées telles que la fixation de l'azote par les légumineuses et les apports d'engrais minéraux ont une incidence certaine sur la fertilité des sols. Nous allons étudié dans les prochains chapitres le rôle spécifique du labour sur les rendements des cultures et son importance sur l'incorporation de l'amendement organique (fumier). Nous tenterons aussi d'évaluer la contribution de *l'azote fixé* et de *l'azote engrais* au maintien de la fertilité des sols de la zone Soudano-sahélienne.

QUATRIEME PARTIE

**ROLE DE L'AMENDEMENT ORGANIQUE :
EFFET SPECIFIQUE DU LABOUR ET EFFET
LABOUR AVEC ET SANS APPORT DE MATIERE
ORGANIQUE SUR LES RENDEMENTS DES
CULTURES ET LA FERTILITE DES SOLS**

CHAPITRE V- EFFET DU LABOUR AVEC ET SANS APPORT DE MATIERE ORGANIQUE SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES

I - Introduction

On n'a pas étudié l'effet du labour en soi, mais celui de l'apport organique ou de l'absence d'apport en culture continue et en rotation sur le long terme. Pratique ancestrale, le labour est jusqu'à présent la technique la plus efficace pour l'incorporation de la matière organique. Il occupe une place essentielle dans les recommandations des services de vulgarisation.

L'étude de l'effet du labour sur la production agricole et l'évolution des sols en zone Soudano-Sahélienne a naguère fait l'objet de nombreux travaux (Tourte 1951 ; Charreau et Nicou 1971) ; ces travaux ont concerné l'influence du labour en sol sec et en sol humide.

L'avantage escompté d'un labour en saison sèche, dans les sols sableux, a été mis en évidence par Chopart et Nicou (1978). L'utilisation de la matière organique pour accroître et ou améliorer la productivité des sols sableux est déjà ancienne (cf 1^{ère} partie). Récemment Cissé (1986), Ganry (1990) et Sedogo (1993) ont contribué à en montrer les mécanismes d'action. La dose préconisée par la recherche (10 t/ha/an de fumier) n'est pas du tout réaliste dans ces zones où la disponibilité des résidus de récolte est faible (cf chapitre IV, paragraphe 2) ; c'est ce qui nous a conduit à n'étudier que l'apport de faibles doses (4 t/ha/an) de fumier.

En ce qui concerne l'étude proprement dite à Bambey, nous considérerons les vingt dernières années (1971-1991) période durant laquelle aucune modification n'a été apportée sur ce

dispositif après la division en deux séries: culture continue d'arachide et rotation mil-arachide.

A Thilmakha, l'essai a reçu pendant une dizaine d'années (1978-1988) un apport global de 29 t de fumier (de 1978 à 1982 un apport annuel de 1t M.S./ha et 4t M.S./ha de 1983 à 1988) soit 380 à 435 kg d'azote en 11 ans.

II - Effet du labour sur les rendements

II.1 - Cas de Bambey : effet spécifique du labour

Le rendement moyen (parties aériennes récoltées) de l'arachide en culture continue est d'environ 3 t M.S./ha entre 1971 et 1991 (figure 6), notons que la moyenne nationale pour le Sénégal dans la même période est de 1,5 t M.S./ha. On constate une forte variabilité interannuelle du rendement total sur les traitements sans et avec labour, liée au régime pluviométrique. L'effet labour est aussi très variable mais toujours positif (figure 6). Globalement durant ces 20 dernières années l'effet du labour sur le rendement moyen de l'arachide (en culture continue) est de +23 % par rapport au témoin qui présente 2,3 t M.S./ha (annexe 7).

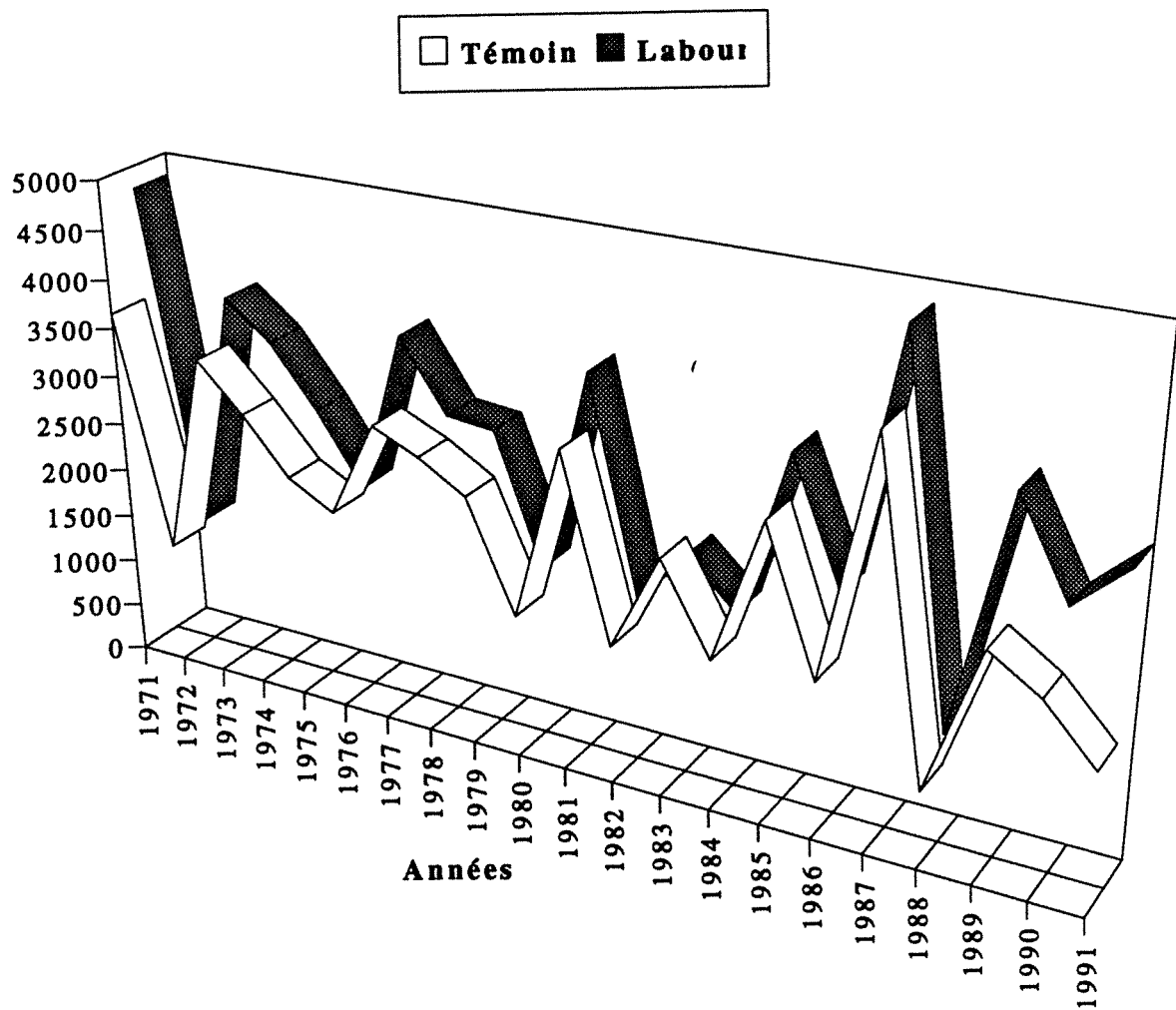


Figure 6 : Evolution des rendements de la culture d'arachide (kg/ha) en culture continue (1971-1991)

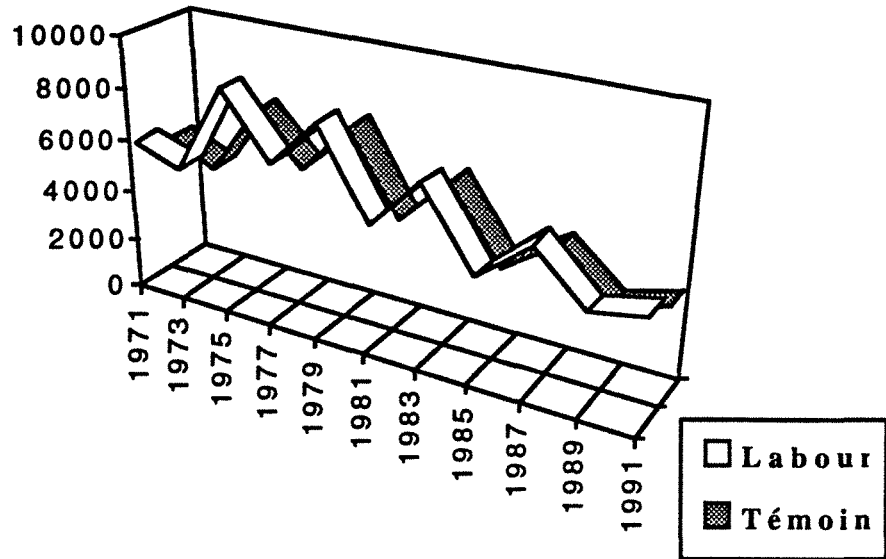
Les résultats obtenus sur la culture en rotation sont représentés par les figures 7a et 7b et les valeurs globales en annexe 8a et 8b. Elles indiquent un effet labour sur les rendements moyens de +20 % sur la production d'arachide par rapport au témoin (2,0 t M.S./ha) et de +17 % sur la production de mil par rapport à celle du témoin (4,9 t M.S./ha). Les rendements du mil sont élevés et peuvent être influencés par le précédent cultural arachide.

Dans l'ensemble, l'effet labour est plus marqué sur l'arachide en culture continue qu'en rotation avec le mil ; les mêmes observations ont été faites par Chopart et Nicou (1989). Dans les conditions pédoclimatiques de l'expérimentation, la variabilité interannuelle de l'effet labour sur le mil semble plus faible que celle obtenue sur arachide.

De l'examen de ces rendements, il ne ressort aucune évolution dans le temps liée à un effet de la culture continue d'arachide contrairement à la culture en rotation où l'on observe un certain maintien et ou augmentation des rendements durant ces dernières années.

Pour le même agrosystème, Chopart et Nicou (1989) ont tenté de mettre en relation les rendements avec le taux moyen de satisfaction des besoins en eau au cours du cycle cultural après avoir estimé les termes du bilan hydrique grâce à un modèle de simulation (Franquin et Forest 1977). Ces résultats ont montré une corrélation significative avec le rapport Evapotranspiration réelle sur Evapotranspiration maximum (ETR/ETM) mais la relation n'est pas linéaire. Le meilleur ajustement est obtenu avec une équation du second degré, mais la liaison tend à devenir plus lâche lorsque le rapport ETR/ETM se rapproche de 1.

a) Mil



b) Arachide

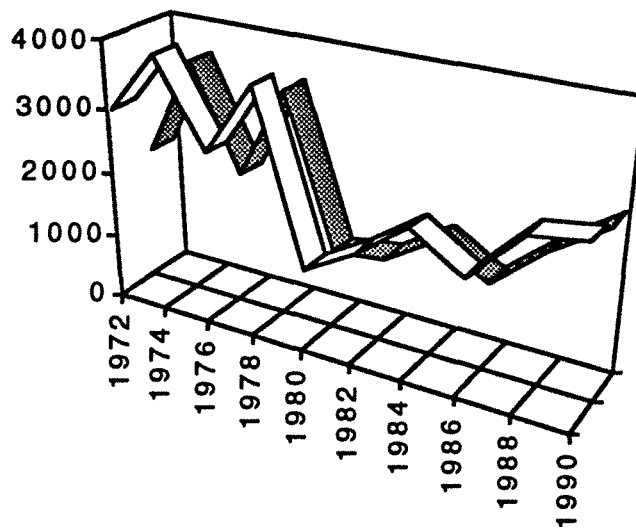


Figure 7 : Evolution des rendements des cultures (kg/ha) en rotation

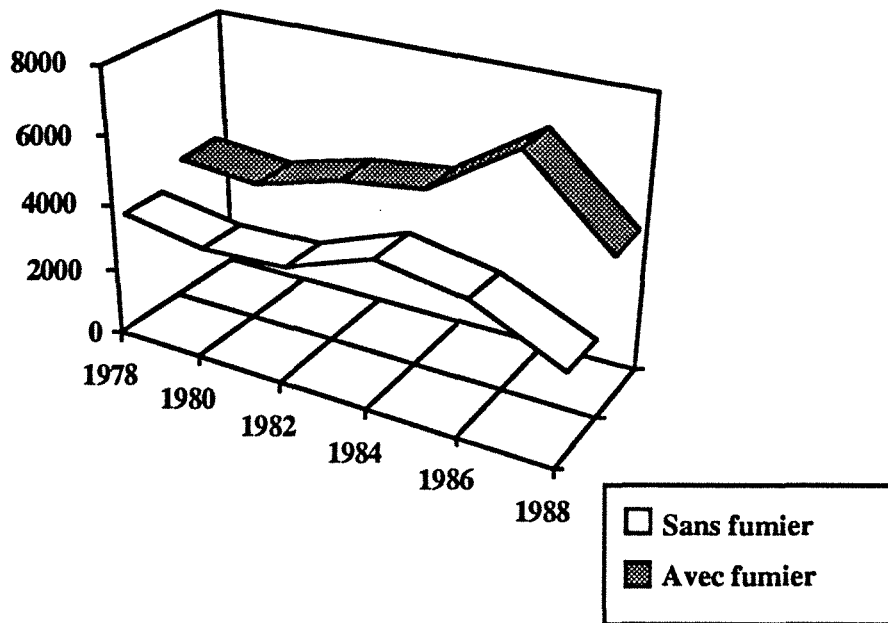
Des observations faites à Bambey par Chopart et Nicou (1989) ont montré que les rendements diminuent lorsque les conditions d'alimentation hydrique sont bonnes ; ceci suggère que d'autres facteurs tels que le lessivage de l'azote (Cissé 1986) et l'apparition des maladies cryptogamiques causées par l'excès d'humidité influencent vraisemblablement les rendements des cultures.

Dans l'ensemble, les rendements d'arachide obtenus en culture en rotation avec labour sont plus élevés que ceux en culture continue d'arachide ; néanmoins les valeurs obtenues en culture continue sont relativement satisfaisantes dans les conditions actuelles de la zone.

II.2 - Cas de Thilmakha : effet labour avec et sans apport de fumier

Les résultats obtenus sont représentés par les figures 8a et 8b et les annexes 9a et 9b. Ils indiquent un fort accroissement des rendements sous l'action du fumier. Le rendement de la culture d'arachide au cours de ces années varie entre 2,8 et 5,5 t M.S./ha contre 1,4 et 4,8 t M.S./ha pour le témoin. Quant à la production de mil, les rendements s'échelonnent entre 4,0 et 6,7 t M.S./ha avec apport de fumier et entre 2,5 et 4,1 t M.S./ha pour le témoin. L'effet fumier est de +43% par rapport au témoin sur la production du mil contre +23% sur la production de l'arachide. En ce qui concerne les rendements de l'arachide, on n'observe pas de différences significatives entre le traitement avec et sans fumier pendant la période 1979-1983 contrairement au mil où un effet significatif a été toujours obtenu après apport de fumier (Tableaux 5a et 5b).

a) Mil



b) Arachide

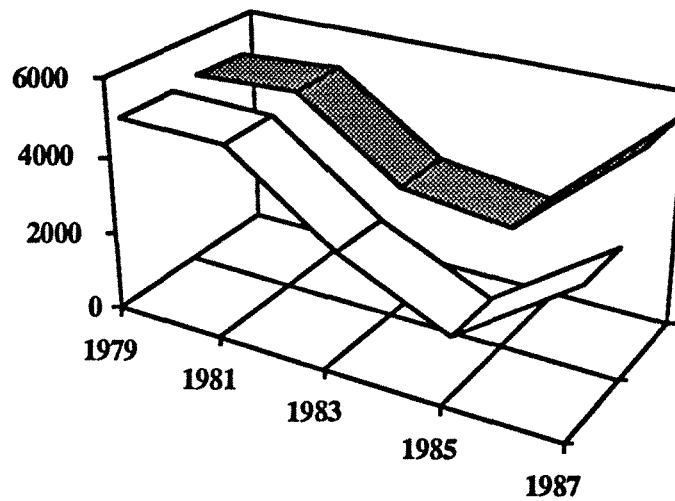


Figure 8 : Evolution des rendements des cultures (kg/ha) en rotation à Thilmakha

Tableau 5

Evolution des rendements des cultures (kg/ha) sous l'influence du fumier

A-Mil

Traitements	1978	1980	1982	1984	1986	1988
Témoin	3567 <i>b</i>	3150 <i>b</i>	3237 <i>b</i>	4138 <i>b</i>	3696 <i>b</i>	2517 <i>b</i>
Avec fumier	4219 <i>a</i>	4050 <i>a</i>	4677 <i>a</i>	5026 <i>a</i>	6698 <i>a</i>	4400 <i>a</i>
C.V. (%)	12,1	12,8	15,5	14,2	16,3	20,5

B -Arachide

Traitements	1979	1981	1983	1985	1987
Témoin	4864 <i>a</i>	4811 <i>a</i>	2761 <i>a</i>	1494 <i>b</i>	3579 <i>b</i>
Avec fumier	4953 <i>a</i>	5085 <i>a</i>	3196 <i>a</i>	2833 <i>a</i>	5522 <i>a</i>
C.V. (%)	12,5	16,6	16,8	16,7	13,2

Les valeurs affectées d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % (Newman-Keuls)

Nous notons sur mil une augmentation des coefficients de variation au cours des années, ceci indiquant vraisemblablement que le nombre de facteurs limitants non maîtrisés (stress hydrique) augmente au fur et à mesure que les cultures se poursuivent ; des résultats similaires ont été observés à Saria au Burkina Faso par Hien (1990). D'autres travaux effectués dans la zone Ouest Africaine confirment cet effet très net du fumier enfoui à la fois sur la production des céréales et sur le maintien de la fertilité du sol (Gigou 1982, Cissé 1986, Ganry 1990, Hien 1990 et Sédogo 1993). A partir de 1989, on a étudié l'effet résiduel de ces apports sur la production des cultures d'arachide et de mil (Tableau 6).

Tableau 6

Effet résiduel du fumier sur les rendements (kg ha⁻¹) des cultures d'arachide et de mil (1989-1991)

Taitements	Arachide 1989	Mil 1990	Arachide 1991
Sans Fumier	1577 <i>b</i>	4641 <i>a</i>	586 <i>a</i>
Avec Fumier	2537 <i>a</i>	5146 <i>a</i>	614 <i>a</i>
Effet fumier (%)	61	11	16
C.V. (%)	11,5	12,1	10,3

Les valeurs affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (Newman-Keuls)

Les résultats obtenus ont montré une réponse positive de l'arachide en 1989 (effet fumier de +61%); par contre à partir de 1990 aucun effet résiduel significatif sur les cultures suivantes n'est apparu sinon de faibles effets non significatifs du fumier sur le mil en 1990 (+11%) et en 1991 sur l'arachide (5%). Ces résultats montrent que l'effet résiduel des apports de fumier tend à se dissiper rapidement au cours des années et que les apports réguliers de faibles doses de fumier annuels ou bisannuels doivent être préférés à des doses plus espacées même si elles sont plus élevées. Les travaux effectués par Meek et al. (1982) et par Doran et al. (1987) sur l'importance de la gestion du fumier pour le maintien ou l'amélioration de la fertilité des sols confirment les résultats obtenus à Thilmakha.

III - Conclusion

L'amélioration du rendement des cultures par le labour n'est plus à démontrer dans les sols sableux de la zone Soudano-sahélienne. En effet, de nombreux travaux (Charreau et Nicou 1971) montrent que la porosité du sol dans la zone Centre-Nord du Sénégal est limitée (environ 40 %) et même insuffisante pour permettre un bon enracinement.

Donc ils estiment que les techniques de travail du sol sont nécessaires d'autant plus que les conditions naturelles propres à ces sols ne permettent pas d'atteindre une amélioration spontanée de leurs caractères physiques. L'amélioration physique du sol, en particulier l'accroissement de la réserve utile en eau, engendrant un bon développement racinaire est possible et doit être prise en compte dans une agriculture caractérisée par un risque élevé de déficit hydrique.

L'ensemble de nos résultats obtenus indique un effet moyen du labour sur le rendement de +23% en culture continue d'arachide et de 17% et 20% respectivement pour les cultures d'arachide et de mil en rotation. Ces résultats confirment ceux acquis pour le même agrosystème par Chopart et Nicou (1989).

Par ailleurs, on confirme que l'apport de matière organique sous forme de fumier présente des avantages certains pour l'accroissement de la productivité de +43% pour les céréales et +23% pour les légumineuses comparé au témoin labouré avec fumure minérale seule. Ceci confirme l'importance de la matière organique sur la productivité des sols sableux (Cissé 1986 et Ganry 1990). Après 11 années d'apport de matière organique, on constate uniquement un effet résiduel significatif sur le rendement en première année mais pas au delà ; dans ces sols très fragiles, l'effet cumulatif du fumier sur une longue période peut entraîner une minéralisation importante du carbone humique présent mais aussi contribuer à le restituer. Ceci montre que les faibles apports de fumier en sols sableux augmentent les rendements mais ne sont pas suffisants pour maintenir longtemps le stock d'humus stable de ces sols.

Enfin, les résultats obtenus ont montré l'importance agronomique de la succession culturale, le travail du sol et les faibles doses de fumier.

Dans les deux sites Bambey et Thilmakha, la variabilité interannuelle des rendements est plus marquée pour l'arachide. En général cette variabilité est toujours liée aux problèmes climatiques mais les travaux de Chopart et Nicou (1989) réalisés au Sénégal dans les mêmes agrosystèmes montrent que si les conditions d'alimentation hydrique jouent un rôle primordial dans l'expression

annuelle des cultures, la durée des cultures et l'évolution des états physiques, chimiques et biologiques interviennent sensiblement sur le devenir à long terme de la productivité des sols.

Après avoir scindé dans l'effet de l'amendement organique sur le rendement, l'effet spécifique du labour et de la matière organique, nous allons étudié dans le prochain chapitre l'influence de ces techniques culturales sur l'évolution de la matière organique et les autres caractéristiques des sols sableux de la zone Soudano-sahélienne.

CHAPITRE VI- EFFET DES TECHNIQUES CULTURALES SUR L'EVOLUTION DE LA MATIERE ORGANIQUE ET LES AUTRES CARACTERISTIQUES DU SOL

Les analyses ont été effectuées sur les échantillons de sols prélevés sur une jachère située à proximité immédiate de l'essai à Bambey ; le sol de cette jachère est du même type que celui de l'essai et depuis 30 ans elle n'a jamais été cultivée mais laissée sous végétation naturelle. Par ailleurs, il faut noter que des analyses de sol ont été effectuées en 1987 sur tous les traitements étudiés et dont les résultats ont été présentés dans les tableaux 1 et 2 du deuxième chapitre de ce mémoire.

Contrairement à Bambey, des analyses de sols ont été effectuées au départ de l'essai à Thilmakha en 1978. Les effets des apports de fumier après 11 ans ont été évalués. Après avoir étudié l'influence des techniques culturales sur les rendements des cultures, on s'intéressera aux effets globaux de ces pratiques sur la matière organique du sol et aux autres caractéristiques du sol après 30 et 14 ans de culture respectivement à Bambey et à Thilmakha.

A Bambey il n'y a pas eu d'analyses de sol au début de l'essai en 1962 ce qui aurait permis de suivre l'évolution du sol au cours du temps. Par ailleurs, les résultats des analyses ont permis d'évaluer les fluctuations des caractéristiques du sol sous culture après travail du sol avec et sans apport de matière organique. Les analyses détaillées des horizons (0-20 cm et 20-40 cm) des deux dispositifs sont présentées en annexes 10 et 11. Les valeurs moyennes de l'horizon 0-40 cm sont présentées dans les tableaux 7, 8, 9, 10, 11 et 12. Un échantillon moyen a été fait par traitement et

chaque échantillon moyen concerne les six et huit répétitions sur le terrain respectivement à Bambey et à Thilmakha.

I - Evolution du carbone, de l'azote et des fractions organiques du sol

I.1 - Le carbone et l'azote du sol

L'ensemble des résultats du carbone total et de l'azote total du sol sous l'influence du labour est consigné dans le tableau 7. On observe des baisses significatives de 55 à 59% du taux de carbone du sol par rapport à ceux du sol non cultivé (la jachère) respectivement pour les traitements en rotation et en culture continue avec labour après 25 ans de culture. Des valeurs plus faibles ont été obtenues pour les mêmes traitements mais sans le travail du sol de l'ordre de 48 à 49% ; celles-ci montrent une baisse annuelle du taux de carbone du sol comprise entre 1,3 et 2,0% sous l'influence des techniques culturales ; ces résultats confirment ceux de Piéri (1989) qui trouve 1,5 et 2,5% dans la zone Ouest Africaine. L'azote a évolué de façon presque identique. En 1991 on assiste à une diminution non significative des teneurs en carbone et azote des sols, ce fait peut expliquer que les sols de Bambey après 30 ans de culture avec les mêmes techniques culturales ont atteint ou sont proches de l'état d'équilibre organique.

Nos résultats montrent que la mise en culture entraîne en général une baisse de la matière organique par rapport au sol non cultivé. Sous d'autres conditions pédoclimatiques, ces processus sont également mis en évidence par Nye et Greenland (1960), Pichot

**Tableau 7 Evolution du carbone et de l'azote du sol après 25 ans (1962-1987) et 30 ans (1962-1991)
de culture et de non culture à Bambey**

	1962			1987			1991		
	C	N	C/N	C	N	C/N	C	N	C/N
	‰			‰			‰		
Jachère	3,28	0,28	11,7						
Culture continue									
Sans labour				1,66 a (-49)	0,15 a (-47)	11,1	1,66 a (-49)	0,14 a (-50)	11,8
Avec labour				1,33 b (-59)	0,16 a (-43)	8,3	1,32 b (-61)	0,12 a (-57)	11,0
C.V %				6,3	16		6,5	15	
Rotation									
Sans labour				1,69 b (-48)	0,16 a (-43)	10,5	1,68 a (-50)	0,13 a (-53)	12,9
Avec labour				1,48 a (-55)	0,14 a (-50)	10,6	1,47 b (-51)	0,13 a (-53)	11,5
C.V %				4,3	12		4,4	16	

Les valeurs affectées d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Newman et Keuls)

(-) indique les baisses en pourcentage de l'élément par rapport au sol non cultivé (jachère)

(1974) et Sanchez (1976). Velly et al (1977) ont observé que la mise en culture avec labour et fumure exclusivement minérale aggrave encore ces processus. La culture continue avec et sans labour semble accentuer la décomposition de la matière organique du sol au cours des années par rapport à la rotation ; ces résultats vont dans le même sens que ceux obtenus par Hien (1990) et Sédogo (1993). Le rapport C/N du sol du traitement rotation sans labour est plus élevé que celui des autres traitements; ce fait peut être expliqué par la présence du mil dans la rotation avec une masse racinaire plus importante que l'arachide.

A Thilmakha, les résultats des moyennes des horizons 0-40 cm sont consignés dans le tableau 8 ; par rapport à la situation de départ on assiste à une augmentation du taux de carbone (+10%) et d'azote (+32%) des sols ayant reçu du fumier. Ces résultats montrent que l'apport de fumure minérale et de matière organique augmentent de manière significative le taux de carbone et d'azote des sols. Les résultats vont dans le même sens que les observations faites par Jenkinson (1977) et Doran et al. (1987) en zones tempérées qui montrent l'intérêt capital de la matière organique pour l'amélioration et le maintien de la fertilité azotée du sol sous culture continue.

En 1991, l'étude des effets résiduels sur 3 ans a montré une baisse brutale de 35,0% du taux de carbone soit 11,5% par an et de 39% du taux d'azote soit 13% par an par rapport aux taux mesurés dans les sols après les dernières cultures en 1988. Par contre, la baisse du taux intervenue dans le témoin est sensiblement restée la même. Ceci démontre une fois de plus que dans ces milieux très fragiles l'apport de la matière organique doit être continue afin d'augmenter la productivité et de maintenir la fertilité des sols.

Tableau 8 Evaluation du carbone et de l'azote du sol après 11 ans d'apport de fumier (1978-1988) et après 3 ans d'effet résiduel (1988-1991) à Thilmakha

	1978			1988			1991		
	C ‰	N ‰	C/N	C ‰	N ‰	C/N	C ‰	N ‰	C/N
Sol de Départ	1,81	0,136	13,3						
Témoin				1,41 a (-21)	0,14 a (+3)	10,0	1,36 a (-4)	0,13 a (-8)	10,5
Avec fumier				1,99 b (+9,9)	0,18 b (+33)	11,0	1,28 b (-35)	0,11 a (-38)	11,6
C.V %				7	12		7	12	

Les valeurs affectées d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Newman et Keuls)

(+) et (-) indiquent les augmentations et les baisses en pourcentage de l'élément par rapport à celui du sol de départ.

Ces résultats montrent aussi que le bénéfice de l'effet résiduel des doses de fumier est de courte durée.

I.2 - Les fractions azotées organiques du sol

Les résultats relatifs à l'horizons (0-40 cm) sont présentés dans les tableaux 9 et 10. Dans les annexes 12 et 13 sont présentés les résultats relatifs au profil 0-1,2m de chaque traitement.

Ces résultats montrent que la fraction hydrolysable non distillable (Nhnd) diminue en profondeur, la fraction non hydrolysable (Nnh) évolue en sens inverse. Nous remarquons aussi que la fraction Nhnd représentant la forme alpha-aminée est la plus représentée dans tous les traitements étudiés (elle constitue 50 à 60% de l'azote total du sol). Ces résultats confirment ceux obtenus par Egoumenides et al. (1987). Les différents traitements sont comparés entre eux et aux valeurs des sols non cultivés ou jachère.

En culture continue et en rotation, le labour augmente la fraction hydrolysable non distillable. Dans l'ensemble, les techniques culturales entraînent une diminution importante de ces formes comparées aux valeurs du sol non cultivé (Waneukem, 1991).

L'apport de fumier a augmenté considérablement la fraction hydrolysable non distillable par rapport au témoin sans fumier (tableau 10). Les valeurs de Nhd obtenues à Bambey et à Thilmakha restent constantes quel que soit le traitement ; par contre l'azote non hydrolysable (Nnh) varie en sens inverse de Nhnd. Ces résultats vont dans le même sens que ceux obtenus par Vong (1987).

Tableau 9 Evolution des formes d'azote organiques (mg/kg de sol)
du sol à Bambey

Traitements	Nht	Nhd	Nhnd	Nnh	Ntotal	Nhnd/Nhd
Jachère	240,00	55,00	185,00	41,00	281,00	3,36
Culture continue						
Sans labour	89,87 <i>a</i>	31,47 <i>a</i>	58,40 <i>a</i>	26,30 <i>a</i>	120,00	1,85
Avec labour	111,89 <i>b</i>	31,37 <i>a</i>	80,52 <i>b</i>	31,20 <i>a</i>	143,09	2,56
C.V.%	9,8	9,9	3	17		
Rotation						
Sans Labour	85,10 <i>a</i>	35,01 <i>a</i>	50,6 <i>a</i>	30,81 <i>a</i>	116,84	1,44
Avec labour	123,87 <i>b</i>	34,32 <i>a</i>	89,55 <i>b</i>	23,57 <i>b</i>	147,90	2,60
C.V.%	10	6,2	5,9	11,2		

Les valeurs affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (Newman-Keuls).

Le rapport Nhnd/Nhd diminue sous l'action des pratiques culturales ; d'après Egouménides (1989) ce rapport peut être considéré comme un indicateur de la capacité du sol à mobiliser l'azote pour les plantes. Donc dans ces conditions, le maintien de la fertilité azotée d'un sol consisterait à conserver ce rapport aussi élevé que possible dans la zone tropicale sèche.

Tableau 10 Evolution des formes d'azotes organiques (mg/kg de sol)
à Thilmakha

Traitements	Nht	Nhd	Nhnd	Nnh	N total	Nhnd/Nhd
Sol non cultivé	202,00	47,00	155,00	32,00	234,00	3,29
Sans fumier	86,82 a	41,05 a	45,77 a	23,60 a	110,00	1,11
Avec fumier	107,90 b	40,22 a	67,68 b	21,97 a	129,87	1,68
C.V %	6	11,5	4,5	15		

Les valeurs affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (Newman-Keuls)

De nombreux travaux (Vong et Jacquin, 1990; Cheloufi 1991 et Sedogo 1993) ont démontré que l'amélioration des réserves azotées du sol se fait essentiellement dans les fractions organiques alpha-aminées (Nhnd) et ammoniacales (Nhd).

Les fractions alpha-aminées et ammoniacales des sols non cultivés de Bambey et de Thilmakha représentent respectivement une moyenne de 70 et 20% de l'azote organique total du sol. Les résultats des travaux de nombreux chercheurs ont montré la nature labile de ces deux fractions et l'origine essentiellement de synthèse microbienne de la fraction alpha aminée (Jocteur 1984 ; Vong 1987 ; Egoumenides 1990).

L'ensemble des résultats obtenus a mis en évidence l'effet significatif du labour et du fumier sur la fraction hydrolysable non distillable. Ces formes hydrolysables sont considérées comme étant les principaux constituants du pool d'azote utilisable par les cultures.

Beaucoup de travaux réalisés dans la zone Ouest Africaine (Egouménides et al 1987, Hien 1990 et Sédogo 1993) ont montré que c'est surtout la forme alpha aminée ou l'azote de la biomasse microbienne qui joue cet important rôle de pool d'azote disponible pour les cultures. D'après Egoumenides (1990), c'est cette forme qui serait corrélée à l'azote mobilisable (Nhnd-Nhd)

II - Evolution des autres caractéristiques du sol

Les résultats des effets du labour sur les caractéristiques du sol sont présentés dans les tableaux 11 et 12, ils indiquent que le pH et le complexe absorbant du sol ont accusé des baisses importantes par rapport au sol non cultivé. La culture en continue et en rotation avec le labour ont beaucoup contribué à la désaturation du complexe absorbant en calcium et en magnésium vraisemblablement par le biais des exportations minérales des cultures. La fumure minérale apportée au cours des années n'a pas pu compenser ces exportations aux sols. Avec la baisse de ces éléments on assiste à une acidification des sols d'où une chute des pH de 6,2 à 5,6 après 30 ans de culture par rapport à celui de la jachère jamais cultivée et à une apparition de l'aluminium échangeable sur le complexe absorbant. Le taux de cet élément est plus élevé en culture en rotation et présente 23% de la capacité d'échange, par ailleurs en culture continue des taux d'aluminium échangeable plus faibles ont été obtenus sur le traitement sans labour et représentent 8 à 13% de la capacité d'échange.

Tableau 11 Evolution des caractéristiques chimiques du sol après 30 ans de culture à Bambey

	pH	P. ass.	Ca + Mg	Somme (S)	C.E.C. (T)	Al.	S/T	Al/Al+S
		ppm	meq/100g			%		
Jachère	6,2 ± 0,01	56,0 ± 10	2,89 ± 0,03	3,07 ± 0,04	2,7 ± 0,01	0	saturé	0
Culture continue								
Sans labour	5,6 ± 0,03 (-9)	62,5 ± 8 (+11)	0,73 ± 0,02 (-74)	0,97 ± 0,03 (-68)	1,11 ± 0,08 (-59)	0,08 ± 0,01	87 ± 6	7,6 ± 1
Avec labour	5,5 ± 0,01 (-11)	59,6 ± 12 (+6)	0,70 ± 0,04 (-76)	0,85 ± 0,03 (-74)	1,09 ± 0,02 (-60)	0,15 ± 0,02	78 ± 8	15,0 ± 2
Rotation								
Sans labour	5,6 ± 0,03 (-9)	65,5 ± 14 (+17)	0,91 ± 0,03 (-69)	1,17 ± 0,02 (-62)	1,18 ± 0,02 (-56)	0,20 ± 0,03	95 ± 16	20 ± 3
Avec labour	5,6 ± 0,03 (-9)	60,2 ± 10 (+7)	0,73 ± 0,04 (-74)	0,98 ± 0,04 (-69)	1,15 ± 0,03 (-57)	0,21 ± 0,02	85 ± 8	21 ± 2

(+) et(-) indiquent les augmentations et baisses en pourcentage de l'élément par rapport à celui du sol non cultivé

Tableau 12 Evolution des caractéristiques chimiques du sol après 14 ans de culture à Thilmakha

	pH	P. ass.	Ca + Mg	Somme (S)	C.E.C. (T)	Al.	S/T	Al/Al+S
		ppm	meq/100g			%		
Sol de départ	5,72 ±0,01	11,0 ±3	1,01 ±0,03	1,14 ± 0,04	1,6 ±0,01	0,06 ±0,01	71 ±3	5 ±0,8
Sans fumier	5,5 ±0,02 (-4)	22 ±6	0,70 ±0,04 (-31)	0,92 ±0,05 (-20)	0,98 ±0,02 (-39)	0,16 ±0,02 (+166)	93 ±8	15 ±2
Avec fumier	5,75 ±0,03	35 ±5	0,82 ± 0,02 (-19)	1,12 ±0,03 (-2)	1,30 ±0,08 (-18)	0,06 ± 0,02	86 ±6	7,6 ±1

(+) et(-) indiquent les augmentations et baisses en pourcentage de l'élément par rapport à celui du sol non cultivé

Seul le phosphore assimilable a pu être maintenu et augmenté par les apports de fumure minérale de 6 à 7% par rapport au taux initial ; des résultats similaires ont été obtenus par Hien (1990).

Sous l'action du fumier, le pH est maintenu ; ceci démontre que le fumier bien que pauvre en calcium peut pallier sensiblement la désaturation du complexe absorbant et l'augmentation de l'aluminium échangeable. On observe cependant une baisse de la C.E.C.

La désaturation du complexe absorbant de ces sols en Ca et Mg peut être due à la lixiviation ; Pieri (1979) a décrit ces mêmes phénomènes sur certains sols de la zone Ouest africaine. Les travaux récents de Poss (1991) aboutissent aux mêmes constatations et en plus ils observent sur "terre de barre du Togo" un entraînement prépondérant de Ca et de Mg sous l'effet principal des nitrates.

III - Conclusion

Les résultats montrent que les techniques culturales ont un impact considérable sur la matière organique et sur les autres caractéristiques chimiques du sol. Bien que les fumures minérales soient apportées régulièrement, les exportations culturales et les activités microbiennes intenses du sol ont beaucoup contribué à ces fluctuations de la matière organique. Ces résultats vont dans le même sens que ceux obtenus dans la zone Ouest Africaine (Kononova 1967 et Pieri 1985). *Le labour et l'apport de fumier ont considérablement augmenté la fraction organique hydrolysable en particulier la forme alpha aminée.* Cette dernière résultant essentiellement de l'activité microbienne est

donc le siège privilégié des processus de minéralisation et de réorganisation de l'azote du sol (Jocteur 1984).

L'ensemble des résultats montre l'intérêt pratique de la matière organique sur l'amélioration du statut organique du sol. Dans ces sols sableux on observe une rapide minéralisation de la matière organique ; ce qui ne favorise guère une étude de longue durée des effets résiduels du fumier sur les cultures. Pour les autres caractéristiques chimiques du sol, seul le phosphore assimilable semble être compensé par les apports de fumure minérale mais on assiste quand même à une baisse de pH et à une désaturation du complexe absorbant en calcium et en magnésium tant à Bambey qu'à Thilmakha avec comme corollaire l'apparition de l'aluminium échangeable sur le complexe absorbant. Ce qui est sans doute responsable en partie de l'acidification de ces sols sableux.

CINQUIEME PARTIE

**QUANTIFICATION DES SOURCES AZOTEES ET
EFFET DES PRATIQUES CULTURALES SUR LE
BILAN DE L'AZOTE ENGRAIS DANS LE
SYSTEME SOL-PLANTE**

CHAPITRE VII - EVALUATION DES SOURCES AZOTEES DES CULTURES

I - Introduction

Hormis la matière organique recyclée, deux importantes sources azotées existent et sont représentées par l'azote (N₂) fixé par les légumineuses et l'azote des engrais apporté aux cultures ; le pool d'azote mobilisable du sol (azote du sol) bien que jouant un rôle essentiel n'est pas une source en soi.

L'azote fixé enrichit directement le sol par l'action de la *biomasse racinaire* à savoir les nodules, les racines et les exsudats racinaires (Ganry, 1990). Le rôle améliorant des légumineuses est donc essentiellement dû à leur capacité fixatrice de l'azote et aux possibilités de transfert de cet azote fixé aux non légumineuses associées ou en rotation. La partie de la légumineuse non utilisée pour les usages domestiques comprend les défoliations, très importantes chez l'arachide, les résidus de décorticage et la biomasse racinaire. En dehors des pailles, non recyclées directement (elles peuvent l'être indirectement par le fumier), ce sont ces parties restreintes qui enrichiront le pool d'azote mobilisable du sol. Dans la zone Centre-Nord du Sénégal, la production des légumineuses occupe 45% des terres cultivables. Il s'agit principalement de l'arachide (*Arachis hypogaea*) et en superficie plus limitée le Niébé (*Vigna unguiculata*) et le Voandzou (*Vigna subterranea*). Ces cultures sont destinées à l'auto-consommation et à la commercialisation pour l'arachide principalement.

L'importance agronomique et économique de l'azote en agriculture tropicale et le comportement des sols tropicaux lors d'apport d'engrais azotés ont justifié beaucoup d'études menées dans les zones semi-arides et arides (Pichot, 1974 ; Chabalier, 1976 ; Gigou, 1982 ; Ganry, 1990 ; Hien, 1990 et Sedogo 1993).

Dans ce contexte, la présente étude est menée en vue d'évaluer la contribution de l'azote (N₂) fixé symbiotiquement par les cultures et celui apporté par les engrais au maintien de la fertilité des sols de la zone Centre-nord du Sénégal dans le cadre de dispositifs expérimentaux de longue durée.

II - Dispositifs expérimentaux et méthodes de calcul.

II.1 - Dispositifs et base de conduite des cultures

Les dispositifs expérimentaux sur lesquels a été effectué ce travail ont déjà fait l'objet d'une description détaillée dans le chapitre III de ce mémoire. Nous allons décrire ici la partie relative à la quantification de l'azote.

On a quantifié l'azote fixé par l'arachide pendant deux années successives (1990-1991) à Bambey et pendant une seule année (1991) à Thilmakha.

En 1990, à Bambey, en culture continue et en culture en rotation (arachide-mil) avec et sans labour, on a apporté des engrais azotés sur arachide et sur mil (plante de référence) à des doses respectives de 10 et 50 kgN/ha, avec des excès isotopiques respectifs de 10 et 2%. En 1991, la dose apportée au mil a été augmentée (100 kgN/ha à 1% excès) en vue d'améliorer la productivité de la céréale. L'ensemble des traitements a été soumis à 6 répétitions chacun.

A Thilmakha, des doses de 10 et 100 kgN/ha à des excès isotopiques de 10 et 1% ont été apportées respectivement sur arachide et sur mil sur les traitements choisis (avec et sans apport de fumier). Le dispositif de Thilmakha est en blocs de Fisher avec 8 répétitions.

L'azote engrais est apporté sous forme de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ à la levée (c'est à dire 7 jours après semis). Une fertilisation minérale potassique et phosphatée a été appliquée au sol au moment des semis.

Les superficies des parcelles ^{15}N à Bambey et à Thilmakha sont égales à $3,25\text{m}^2$ ($2,25\text{m} * 1,5\text{m}$).

II.2 - Méthodes de calcul

Dans la première partie de ce mémoire, nous avons décrit la méthode de calcul de l'azote de la plante dérivé de l'engrais (NdfF) du coefficient réel d'utilisation (CRU) et de l'immobilisation (NiS). Nous décrirons ici brièvement la méthode de calcul (Fried et Middleboe 1977) adoptée pour quantifier l'azote fixé (NdfFix), l'azote dérivé du sol (NdfS) et la valeur A qui est, selon Ganry (1990), un indicateur du pool d'azote mobilisable du sol dans des conditions méthodologiques bien précises.

Ce concept de la valeur A (Fried et Dean 1952) repose sur l'hypothèse suivante :

- lorsqu'une plante est en présence de différentes sources d'azote, l'absorption à partir de chacune de ces sources est proportionnelle à la quantité disponible dans ces deux sources, d'où l'équation de base :

$$\frac{\text{N total}}{\text{N total disponible}} = \frac{\text{NdfF}}{\text{NF}} = \frac{\text{NdfS}}{\text{A Sol}}$$

N total disponible = NF + A sol

NF = Azote engrais apporté

A sol = Azote sol disponible (pool d'azote mobilisable)
à un instant donné et sous forme ammoniacale et/ou nitrique.

La valeur A est exprimée, par exemple en kgN/ha équivalent sulfate d'ammonium, si cet engrais est l'engrais utilisé pour la mesure.

La quantité d'azote disponible dans la source "sol" est désignée par A. Pour la détermination de cet azote, il est nécessaire de connaître :

N total

$$\text{NdfF} = (\text{N total} * \% \text{ NdfF})/100$$

$$\text{NdfS} = (\text{N total} * \% \text{ NdfS})/100$$

$$\text{N total} = \text{NdfF} + \text{NdfS}$$

Ces termes vérifient l'égalité suivante : $\% \text{NdfF} + \% \text{NdfS} = 100$ pour la céréale. Ces équations permettent d'écrire les deux relations suivantes :

$$\frac{\% \text{ NdfF}}{\text{NF}} = \frac{100 - \% \text{ NdfF}}{\text{A Sol}}$$

De cette relation, on déduit la valeur A du sol :

$$\text{A sol} = \text{NF} \times \frac{100 - \% \text{ NdfF}}{\% \text{ NdfF}}$$

Quant à l'azote fixé, "Nitrogen derived from fixation" (NdfFix), il est calculé avec les données de la légumineuse et celles de la plante de référence (dans le cadre de notre travail, le mil est utilisé comme référence) :

$$\% \text{ NdfFix} = 100 - \left(\frac{\% \text{ NdfFnod}}{n \times \% \text{ NdfF non nod}} \right) + \text{NdfFnod} \times \left(\frac{1}{n - 1} \right)$$

où NdfFnod est l'azote provenant de l'engrais apporté à la plante fixatrice (arachide)

NdfFnon nod est l'azote provenant de l'engrais de la plante non fixatrice (mil)

n est le rapport de la dose d'engrais apporté sur la légumineuse sur la dose d'engrais apporté sur la plante de référence (mil).

En 1990, à Bambey le rapport n est 0,2 (10/50).

En 1991, à Bambey et à Thilmakha le rapport n est 0,1 (10/100)

Pour la légumineuse, les termes cités ci-dessus vérifient l'égalité suivante : NdfFix + NdfS + NdfF = N total

Les techniques analytiques afférentes à ces calculs ont été décrites dans le chapitre III de ce mémoire.

III - Résultats - Discussions

Toutes les données qui ont servi de base aux calculs des résultats présentés dans les tableaux 13, 14, 15, 16, 17 et 18 sont présentées dans les annexes 14, 15 et 16. La signification statistique est étudiée d'après le test de Newman-Keuls au seuil de 5% (Statitcf, version 4, 1988-1991).

Cette étude est consacrée uniquement aux différentes sources d'azote (l'azote fixé, l'azote-engrais, l'azote du sol et la valeur A) de l'arachide et du mil cultivés à Bambey pendant deux années successives et pendant une année à Thilmakha. Les résultats des bilans azotés seront traités dans la cinquième partie de ce travail en relation avec l'effet des techniques culturales.

III.1 - Azote fixé par l'arachide

III.1.1 - Cas de Bambey

En 1990, la fixation de l'azote, tous traitements confondus s'échelonne entre 66 et 70% (tableau 13). Quantitativement, l'azote fixé varie entre 37 et 53 kg/ha. En 1991, le taux de fixation a légèrement baissé comparé à celui de 1990 ; ce qui est vraisemblablement dû à une sécheresse intervenue en pleine floraison des cultures. Mais contrairement aux résultats de 1990, ceux obtenus en 1991 montrent des différences significatives entre les traitements labour et sans labour sur la quantité d'azote fixé par les cultures ; ceci suggère un effet positif du travail du sol lors d'un stress hydrique caractérisé par un effet cumulatif des labours et un effet direct, qui n'existe pas en 1990. Quantitativement, l'azote fixé varie entre 22 et 45 kg/ha sous l'effet du labour (tableau 14).

Au cours de ces deux années d'études successives de l'azote (N_2) fixé à Bambey, la principale contrainte fût d'ordre climatique. L'irrégularité et la faiblesse de la pluviométrie peuvent diminuer énormément la quantité d'azote (N_2) fixée par la légumineuse.

Tableau 13

Sources d'azote (exprimées en pourcentage de l'azote total de la plante et en kg/ha) pour l'arachide (variété 73-30) à Bambey -1990.

Traitements	Rendements kg/ha	N total	NdfF		NdfFix		NdfS	
		kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha
Culture continue								
Sans labour	1915 <i>a</i>	53,94 <i>b</i>	3,94 <i>a</i>	2,17 <i>a</i>	69,78 <i>a</i>	37,42 <i>a</i>	26,20 <i>a</i>	14,29 <i>a</i>
Avec labour	2055 <i>a</i>	59,39 <i>a</i>	4,02 <i>a</i>	2,34 <i>a</i>	66,15 <i>a</i>	39,35 <i>a</i>	19,91 <i>a</i>	17,70 <i>a</i>
C.V.%	9,8	7,1	13,2	13,8	11,7	12,8	26,2	24,6
Rotation								
Sans labour	2643 <i>a</i>	73,25 <i>a</i>	3,28 <i>a</i>	2,39 <i>a</i>	69,55 <i>a</i>	51,23 <i>a</i>	27,17 <i>a</i>	19,61 <i>a</i>
Avec labour	2812 <i>a</i>	79,36 <i>a</i>	3,31 <i>a</i>	2,62 <i>a</i>	67,24 <i>a</i>	53,23 <i>a</i>	29,45 <i>a</i>	23,47 <i>a</i>
C.V.%	8,1	9,9	9,6	8,3	12,4	17,3	29,7	28,8

Les valeurs affectées d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Newman et Keuls).

Tableau 14
Sources d'azote (exprimées en pourcentage de l'azote total de la plante et en kg/ha) pour l'arachide
(variété 73-30) à Bambey en 1991.

Traitements	Rendements kg/ha	N total kg/ha	NdfF		NdfFix		NdfS	
			%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha
Culture continue								
Sans labour	2051 <i>b</i>	50,38 <i>b</i>	2,65	1,34	45,16 <i>b</i>	22,53 <i>b</i>	52,20 <i>a</i>	26,50 <i>a</i>
Avec labour	3440 <i>a</i>	83,46 <i>a</i>	2,89	3,26	54,39 <i>a</i>	45,15 <i>a</i>	42,72 <i>b</i>	35,92 <i>a</i>
C.V.%	9,3	9,6	12,3	17,8	10,8	13,6	15,1	22,5
Rotation								
Sans labour	2195 <i>b</i>	61,39	2,41 <i>b</i>	1,48 <i>b</i>	53,57	27,18 <i>b</i>	44,01 <i>a</i>	27,13 <i>a</i>
Avec labour	2473 <i>a</i>	67,13	2,61 <i>a</i>	1,81 <i>a</i>	51,55	34,62 <i>a</i>	45,77 <i>a</i>	30,71 <i>a</i>
C.V.%	9,2	8,1	6,8	10,6	12,6	10,4	14,5	17,9

* Les valeurs affectées d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Newman et Keuls).

De nombreux travaux réalisés dans les zones semi-arides et arides ont fait état de ces contraintes climatiques (Dommergues et Mangenot, 1970 ; Sprent, 1975 ; Balandreau et Ducerf, 1978 ; Gibson et al 1982 ; Ganry, 1990).

Ganry (1990) a quantifié ce phénomène sur arachide à Bambey et a montré que la probabilité des phases de sécheresse est grande en mi-août et correspond à la phase de fixation de l'azote potentielle maximale des légumineuses annuelles.

III.1.2 - Cas de Thilmakha

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 15. Nous avons remarqué que dans cette étude la capacité fixatrice de l'arachide est accrue par l'amendement organique. Il faut noter que l'étude a été réalisée sur l'effet résiduel des apports de matière organique (l'essai a reçu pendant 11 ans, 29 t/ha de fumier soit 400 à 435 kg d'azote). La question se pose de savoir si l'effet résiduel de la matière organique a une incidence significative sur l'azote (N₂) fixé. Sous l'action du fumier (en effet résiduel donc), le pourcentage de l'azote fixé (NdfFix) s'accroît significativement, il passe de 43 à 59%. L'azote fixé augmente quantitativement mais dans une proportion beaucoup plus large de 5 à 17 kg/ha ; Ganry (1992) obtient des résultats similaires sous les mêmes agrosystèmes. En absence de fumier, le %NdfFix est de 43 %, mais cela ne représente qu'une faible quantité (5 kg/ha). Comme à Bambey, le stress hydrique a beaucoup affecté la fixation de l'arachide. Zablotowicz et al. (1981) ont en effet démontré qu'en cas de sécheresse la fixation de l'azote peut diminuer jusqu'à 75% ; par ailleurs, Ganry (1990) trouve à Bambey, sous les mêmes conditions de stress hydrique, un %NdfFix sur arachide qui passe de 70 à 20%.

Tableau 15

Sources d'azote (exprimées en pourcentage de l'azote total de la plante et en kg/ha) pour l'arachide (variété 55-437) à Thilmakha.

Traitements	Rendements kg/ha	N total kg/ha	NdfF		NdfFix		NdfS	
			%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha
Sans fumier	576 <i>b</i>	12,95 <i>b</i>	4,76 <i>a</i>	0,62	42,84 <i>b</i>	5,56 <i>b</i>	52,40 <i>a</i>	6,81 <i>a</i>
Avec fumier	1162 <i>a</i>	28,65 <i>a</i>	2,33 <i>b</i>	0,67	59,24 <i>a</i>	16,97 <i>a</i>	38,43 <i>b</i>	11,01 <i>b</i>
C.V.%	5,6	8,1	5,2	14,1	2,3	14,9	7,3	9,2

* Les valeurs affectées d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Newman et Keuls).

III.2 - Azote provenant de l'engrais

Pour l'arachide, l'azote de la plante provenant des engrais est très faible. A Bambey et à Thilmakha, il s'échelonne entre 2 et 4%. Quantitativement les valeurs obtenues sont comprises entre 0,62 et 3,5 kgN/ha provenant de l'engrais. A Bambey entre 1990 et 1991, seule la série rotation de 1991 présente des différences significatives entre les traitements labour et sans labour concernant le Ndff ; sinon il n'y a pas de différence significative des traitements dans les deux séries de 1990 et dans la série culture continue de 1991. L'utilisation du fumier à Thilmakha a diminué de 50% environ le Ndff, sans pour autant diminuer l'apport total d'azote aux cultures ; ce qui confirme les résultats de Ganry (1990) et de Gigou (1992). L'ensemble de ces résultats confirme le bien fondé de la suppression de l'azote starter pour la culture d'arachide, au Sénégal, dans les années 80.

Contrairement à l'arachide, la principale source d'azote utilisable par le mil provient essentiellement du pool d'azote du sol alimenté en partie par l'engrais azoté. A Bambey en 1990, pour tous traitements confondus, le pourcentage d'azote du mil (%Ndff) provenant de l'engrais est compris entre 36 et 40% (tableau 16). Comme pour l'arachide, on n'observe pas de différences significatives entre les traitements avec labour et sans labour. En 1991, dans le traitement avec labour la rotation augmente le Ndff par rapport au traitement en culture continue (tableau 17). De plus, on observe que le labour augmente le Ndff sous un système de culture en rotation. Comme pour l'arachide, à Thilmakha l'apport de fumier sur mil réduit le Ndff comparativement au témoin sans fumier (tableau 18).

Tableau 16

Sources d'azotes (exprimées en pourcentage de l'azote de la plante et en kg/ha) pour le mil (var. Gam-8506) à Bambey en 1990

Traitements	Rendements	N total	NdfF		NdfS		Valeur A
	kg/ha	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	kg/ha equivalent S.
Culture continue							
Sans labour	2917 <i>b</i>	17,89 <i>a</i>	44,85 <i>a</i>	8,02 <i>a</i>	55,15 <i>a</i>	9,86 <i>a</i>	62,85 <i>a</i>
Avec labour	2775 <i>a</i>	17,00 <i>a</i>	40,17 <i>a</i>	6,83 <i>a</i>	59,83 <i>a</i>	10,24 <i>a</i>	76,85 <i>a</i>
C.V.%	8,5	9,5	13,2	14,9	9,8	15,3	24,5
Rotation							
Sans labour	2607 <i>a</i>	18,96 <i>a</i>	40,12 <i>a</i>	7,61 <i>a</i>	59,81 <i>a</i>	11,34 <i>a</i>	70,77 <i>a</i>
Avec labour	3070 <i>a</i>	22,68 <i>a</i>	36,95 <i>a</i>	8,28 <i>a</i>	63,04 <i>a</i>	14,40 <i>a</i>	88,70 <i>a</i>
C.V.%	15,5	10,5	12,5	10,5	7,8	17,7	25,3

Les valeurs affectées d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Newman et Keuls).

Tableau 17

Sources d'azote (exprimées en pourcentage de l'azote total de la plante et en kg/ha) pour le mil (var. Gam-8506) à Bambey en 1991

Traitements	Rendements	N total	NdfF		NdfS		Valeur A
	kg/ha	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	kg/ha equivalent sulfate
Culture continue							
Sans labour	7092 a	40,39 a	33,94 b	13,71 a	66,07 a	25,95 a	194,91 a
Avec labour	5515 b	28,85 b	37,88 a	10,33 b	62,10 b	19,38 a	153,48 b
C.V%	12,5	9,6	2,9	10,0	1,6	14,9	11,4
Rotation							
Sans labour	5015 b	30,86 b	35,46 a	10,94 b	64,54 a	19,92 b	164,05 b
Avec labour	7704 a	46,15 a	37,36 a	17,31 a	62,35 a	28,93 a	183,45 a
C.V%	12,9	6,4	7,2	9,7	3,7	7,9	12,5

* Les valeurs affectées d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Newman et Keuls).

Tableau 18

Sources d'azote (exprimées en pourcentage de l'azote total de la plante et en kg/ha) pour le mil (Var. Gam-8506) à Thilmakha

Traitements	Rendements	Ntotal	NdfF		NdfS		Valeur A
	kg/ha	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	kg/ha équivalent sulfate
Sans fumier	3802 <i>b</i>	24,99 <i>b</i>	46,41 <i>a</i>	11,60 <i>b</i>	53,70 <i>b</i>	13,33 <i>b</i>	115,88 <i>b</i>
Avec fumier	5386 <i>a</i>	39,91 <i>a</i>	37,77 <i>b</i>	15,06 <i>a</i>	62,23 <i>a</i>	24,85 <i>a</i>	164,90 <i>a</i>
C.V%	8,4	8,6	7,7	10,6	5,6	10,3	3,1

Les valeurs affectées d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Newman et Keuls)

Même si cette utilisation par les cultures est faible, l'engrais azoté joue cependant indirectement un rôle important dans la fourniture d'azote par le sol. La réorganisation de l'azote engrais contribue à alimenter le pool d'azote mobilisable du sol. Rappelons à cet égard que le travail du sol en présence de matière organique, active le cycle interne de l'azote (Chabalier et Pichot, 1979; Guiraud 1984; Jacquin et Vong 1990).

III.3 - Azote du sol et Valeur A

Les résultats obtenus dans les deux sites étudiés (tableaux 16, 17 et 18) montrent que 29 à 60% de l'azote total contenu dans l'arachide provient de l'azote du sol (NdfS). Pour les céréales, en particulier le mil, dans le cas de notre étude, l'azote provenant du sol, NdfS varie entre 50 et 65% à Bambey et à Thilmakha. Ces résultats vont dans le même sens que ceux obtenus par Gigou (1982) et Ganry (1990), qui trouvent que le NdfS varie de 50 à 70% respectivement pour le maïs et le mil. L'ensemble de ces données confirme qu'en zone tropicale sèche plus de 60% de l'azote total des céréales provient de l'azote du sol et le reste des engrais apportés, et montre, une fois de plus, que le maintien de la productivité de ces sols passe nécessairement par la consolidation du pool d'azote mobilisable du sol.

La valeur A permet d'estimer - avec les réserves déjà évoquées - les ressources en azote du sol disponible indépendamment des apports de fertilisants azotés. Les valeurs obtenues dans les sols de la zone Centre-Nord pendant 2 années successives à Bambey sont très variables ; celles obtenues en 1990, varient entre 63 et 89 KgN/ha (tableau 16) pour tous traitements confondus. Elles sont nettement

accrues en 1991 de 164 à 194 kg N/ha. L'hypothèse émise pour expliquer cette augmentation de la valeur A est l'obtention d'une minéralisation importante en 1991 comparé à 1990. Le travail du sol augmente la valeur A des traitements en culture en rotation (tableau 17).

En présence de fumier, la valeur A passe de 115 à 164 kg N/ha équivalent sulfate d'ammonium. Ces résultats confirment ceux obtenus par Ganry (1990) dans la même zone qui obtenait sous mil 95 à 172 kg N/ha équivalent sulfate d'ammonium.

Donc nous assistons à une agmentation de la valeur A par la travail du sol et par les apports de fumier. Le fait que dans ces essais, la valeur A augmente traduit une extension du domaine du sol prospecté par le système racinaire (Cissé et al 1986 ; Ganry 1990).

L'action du fumier sur le sol et particulièrement sur le pool d'azote mobilisable du sol est considérable ; certains auteurs (Pieri 1989; Ganry 1990) attribuent en plus au fumier une action sur le pool d'azote humique.

Ce pool d'azote mobilisable du sol joue un rôle primordial dans le système des cultures en zone tropicale sèche ; ceci signifie qu'en absence de *jachère régénératrice*, il est *impératif* de maintenir ce pool d'azote du sol afin d'assurer le NdfS (azote de la plante dérivé du sol). Il est admis que l'azote total du sol est constitué du pool d'azote qui participe au cycle interne de l'azote (Jansson 1963 cité par Dommergues et Mangenot 1970) et d'un pool humique stable.

IV - Conclusion

Ces différentes sources azotées, d'une façon directe ou indirecte, interviennent dans l'alimentation azotée des cultures et dans le maintien, voire l'amélioration, de la fertilité des sols sableux de la zone Centre-Nord du Sénégal. Cependant, certaines contraintes d'ordre climatique, biologique ou chimique peuvent avoir des incidences négatives sur la capacité fixatrice d'azote de ces sols. Des études faites par Ganry (1990) sur l'effet du stress hydrique et Badiane et al (1992) sur les choix variétaux ont montré qu'en palliant toutes ces contraintes, on augmente considérablement la fixation de l'azote des plantes. *L'apport de l'azote par les légumineuses présente un grand intérêt dans une économie nationale où la production d'engrais azotés est fort coûteuse.* La place de la *légumineuse fourragère* est donc appelée à se développer sous forme de jachère cultivée et sous forme d'association avec les céréales ; ceci contribuera à la fertilisation organique et aussi à l'alimentation du bétail. Enfin tous ces éléments montrent combien la capacité de la légumineuse à contribuer à l'enrichissement du pool d'azote est importante.

Un autre résultat à mettre en relief est l'effet bénéfique du labour et de l'amendement organique sur les différentes sources d'azote. Après avoir évalué les différentes sources d'azote indispensables au développement des cultures et à la fertilité des sols, nous allons étudier le devenir de l'azote engrais apporté dans le système sol-plante des sols.

**CHAPITRE VIII - L'EFFET DES TECHNIQUES CULTURALES
SUR LE BILAN DE L'AZOTE ENGRAIS DANS LE SYSTEME
SOL-PLANTE**

Après avoir étudié l'effet des pratiques culturales sur les rendements, l'évolution de la matière organique et des autres paramètres chimiques du sol, on a considéré l'étude du bilan de l'azote engrais dans le système sol-plante. L'utilisation de la technique isotopique ^{15}N a permis de réaliser cette étude. Dans la quatrième partie de ce mémoire une étude préalable des ressources azotées des cultures a été faite et les principaux résultats ont servi de base à l'évaluation de ce bilan. Il a été déterminé d'une part le coefficient réel d'utilisation de l'engrais (C.R.U) et d'autre part l'azote immobilisé dans le sol (NiS) à une profondeur de 1,20m. Par ailleurs, selon la méthode d'évaluation de l'efficacité de l'engrais développée par Ganry (1990), nous avons déterminé un coefficient d'efficacité réelle "approchée par excès" qui correspond à la somme de ces deux valeurs (CRU + NiS) ; un autre coefficient d'efficacité réelle dit "approchée par défaut" a été estimé en prenant en compte l'azote immobilisé dans l'horizon de surface 0-0,45m (Nis), nous fondant sur l'hypothèse que cette fraction de l'engrais azoté immobilisée dans cet horizon participe activement au cycle interne de l'azote (fertilité azotée) et aussi à l'alimentation des plantes ; en outre, ce compartiment peut être disponible pour les cultures suivantes. Le bilan a été effectué sur les parcelles ^{15}N sous cultures de mil à Bambey et à Thilmakha. Les résultats obtenus sont consignés dans les tableaux 19, 20, 21 et 22 et le détail des calculs dans les annexes 17, 18 et 19.

I - Bilan de l'azote engrais dans les sols

Les rendements de la culture de mil (parties aériennes) sur les dispositifs expérimentaux en 1990 à Bambey s'échelonnent entre 2,6 et 3,0 t M.S/ha et entre 5,0 et 7,7 t M.S/ha en 1991. En revanche les coefficients réels d'utilisation sont faibles et varient de 10 à 17% pour tous traitements confondus durant les deux années consécutives. Par contre, l'azote retrouvé dans le sol est majoritaire (tableaux 20 et 21). L'immobilisation de l'engrais ^{15}N dans le profil (NiS) varie de 45 à 75% et de 44 à 78% respectivement en 1990 et en 1991 ; les résultats obtenus à Bambey sont presque similaires durant les 2 années étudiées alors que les rendements sont différents. Le Nis dans l'horizon de 0-0,45m s'établit en moyenne entre 27 et 41% et représente environ 50% de l'azote immobilisé dans le profil. Ces résultats confirment ceux obtenus par Ganry (1990) qui trouve un Nis de 40 % sous mil à Bambey.

Les résultats obtenus à Bambey dans le cas de la culture en rotation indiquent un effet labour positif et significatif sur les rendements, les C.RU et les NiS. Dans le cas de la culture continue, on observe un effet négatif du labour sur les termes du bilan ; ce phénomène est difficilement explicable car dans l'ensemble de l'étude un effet du labour est obtenu dans les deux séries sous arachide et sous mil. Rappelons qu'il s'agit d'une culture continue d'arachide qui "reçoit" une culture de mil après 30 ans de culture. Les efficacités réelles approchées par excès de l'engrais apporté sont comprises entre 55 et 95 et celles par défaut entre 42 et 55% (tableau 22) ; rappelons que ces dernières correspondent à l'utilisation et à la mise en réserve de l'élément N (%Nis + %C.R.U).

Tableau 19 : Bilan de l'azote engrais dans le sol en 1990 à Bambeby

Traitements	Rendements kg/ha	C.R.U %	NiS %	Nis %
Culture continue				
Sans labour	2917 a	16,21 a	63,21 a	36,02 a
Avec labour	2775 b	13,70 b	53,99 b	34,48 b
C.V%	8,5	9,0	6,5	6,2
Rotation				
Sans labour	2607 a	15,27 a	45,45 b	30,73 a
Avec labour	3070 b	16,59 b	74,83 a	35,00 b
C.V%	15,5	9,5	5,8	3,8

Tableau 20 : Bilan de l'azote engrais dans le sol en 1991 à Bambeby

Traitements	Rendements kg/ha	C.R.U %	NiS %	Nis %
Culture continue				
Sans labour	7092 a	13,71 a	65,49 a	38,79 a
Avec labour	5515 b	10,93 b	58,66 b	35,83 b
C.V%	12,5	10,2	8,0	6,0
Rotation				
Sans labour	5015 a	10,94 a	44,15 a	27,98 a
Avec labour	7704 b	17,22 b	78,12 b	41,90 b
C.V%	12,9	6,1	5,1	5,3

Les valeurs affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (Newman-Keuls)

Tableau 21 : Bilan de l'azote engrais dans le sol de Thilmakha

Traitements	Rendements kg/ha	C.R.U %	NiS %	Nis %
Sans fumier	3702 b	11,60 b	47,93 b	34,21 b
Avec fumier	5392 a	15,00 a	65,77 a	37,10 a
C.V%	9,1	10,6	8,6	3,6

*Les valeurs affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (Newman-Keuls)

Tableau 22 : Valeurs moyennes de l'efficacité réelle de l'azote engrais sous différents agrosystèmes

Traitements Bambey	Efficacité approchée	Efficacité approchée (Ganry 1990)***
Culture continue		
Sans labour	*52,3 < Efficacité < 79,2**	
Avec labour	47,5 < Efficacité < 69,6	
Rotation		
sans labour	42,5 < Efficacité < 55,1	
Avec labour	55,4 < Efficacité < 95,4	
Thilmakha		
Sans fumier	46,0 < Efficacité < 59,5	64,0 < Efficacité < 72,0
Avec fumier	52,0 < Efficacité < 80,8	67,0 < Efficacité < 78,0

* Efficacité réelle approchée par défaut (%C.R.U + %NiS)

** Efficacité réelle approchée par excès (%C.R.U + %NiS)

*** Valeurs calculées sous le même agrosystème que ceux de notre étude mais à une dose d'engrais légèrement plus faible (90 kgN/ha)

Il faut cependant préciser que ce terme "efficience" ne peut être utilisé au sens strict car les rythmes de reminéralisation conditionnant la biodisponibilité peuvent être variables. Comme l'a souligné Ganry (1990), la prise en compte du paramètre sol dans le calcul de l'efficience est du fait de l'importance de deux processus corrélés entre eux : la forte immobilisation biologique de l'azote engrais et le rôle majeur du pool d'azote mobilisable du sol dans l'alimentation azotée de la céréale.

A Thilmakha, l'immobilisation atteint 66% après apport de fumier contre seulement 48% dans la parcelle témoin (tableau 22). Pour tous traitements confondus, les valeurs de l'efficience réelle obtenues à Thilmakha atteignent un maximum après apport de fumier (81%).

Enfin, la mesure de l'azote retrouvé dans le système sol plante en rotation à Bambey et à Thilmakha fait apparaître un déficit dans le bilan azoté. Le déficit varie entre 4,5 et 44,0%. Ces pertes sont attribuées à la dénitrification et à la lixiviation. Dans le cas du traitement rotation avec labour à Bambey on observe de faibles pertes. Les figures 9, 10 et 11 représentent les courbes de NiS de Bambey et de Thilmakha respectivement en 1990 et 1991. On observe un pourcentage de Nis non négligeable (5 à 10%) dans l'horizon 1,20-1,50m, ceci peut expliquer les pertes par lixiviation. En ce qui concerne cette lixiviation, des études ont été menées au Sénégal par Pieri (1982) et Cissé (1986) sur les solutions du sol ; la détermination du bilan hydrique associée à la connaissance des teneurs minérales de la solution du sol ont permis d'estimer en culture semi-intensive des pertes en azote comprises entre 10 et 50

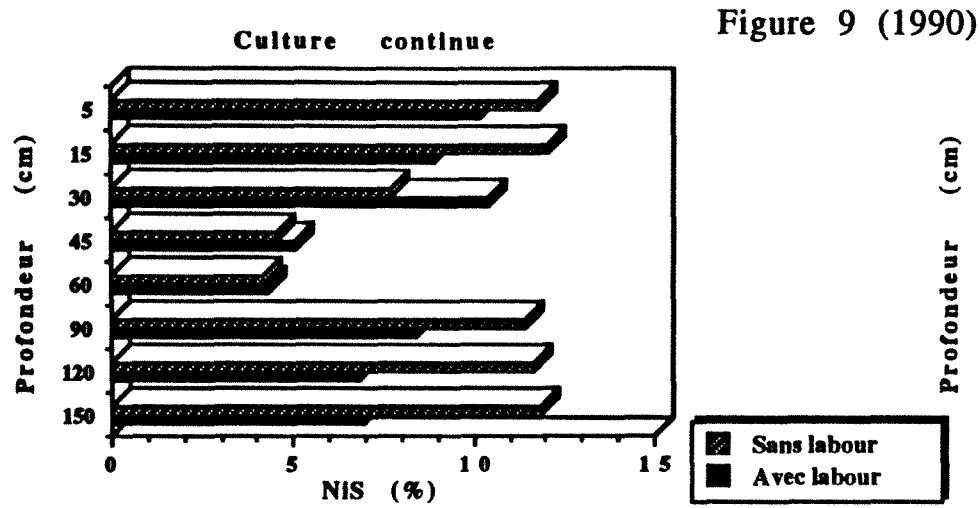


Figure 9 (1990)

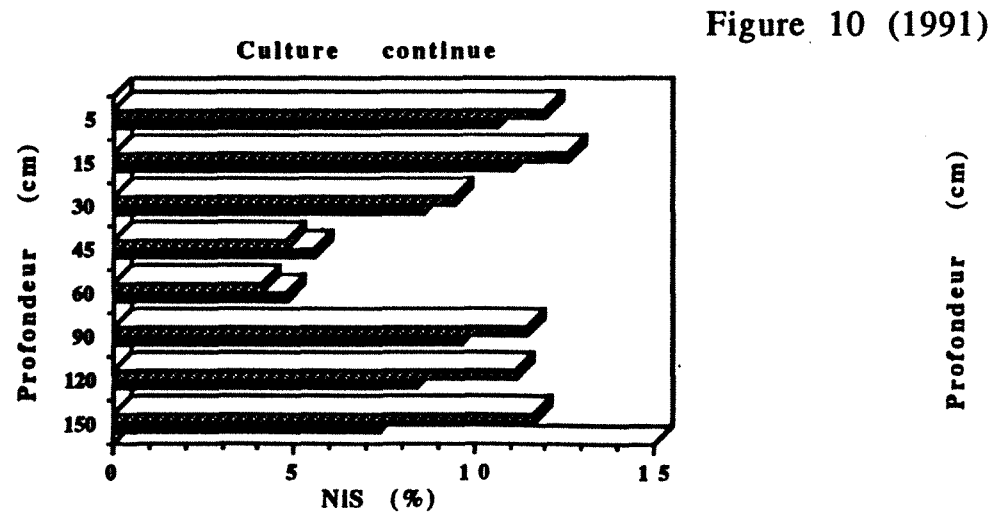
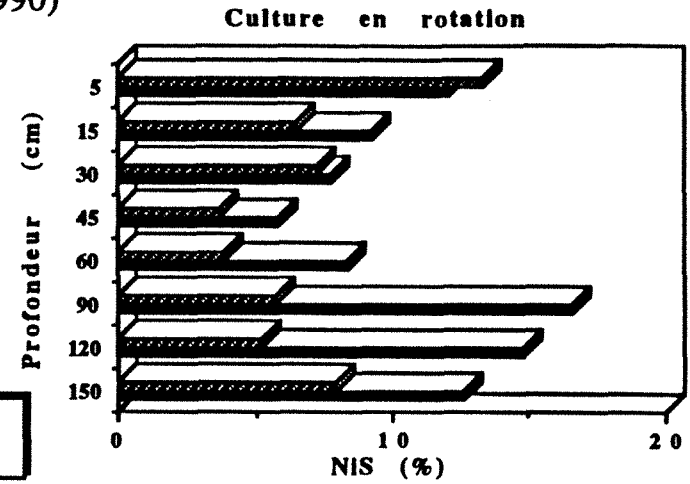
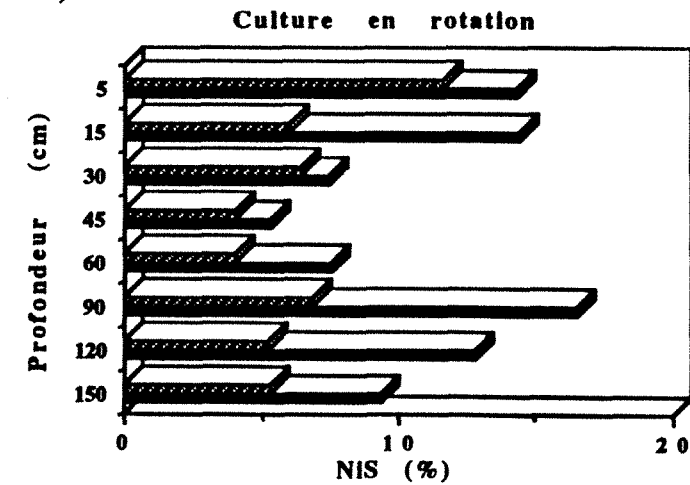


Figure 10 (1991)



Profil d'immobilisation de l'azote engrais dans le sol (NiS %) sous culture de mil à Bambeby

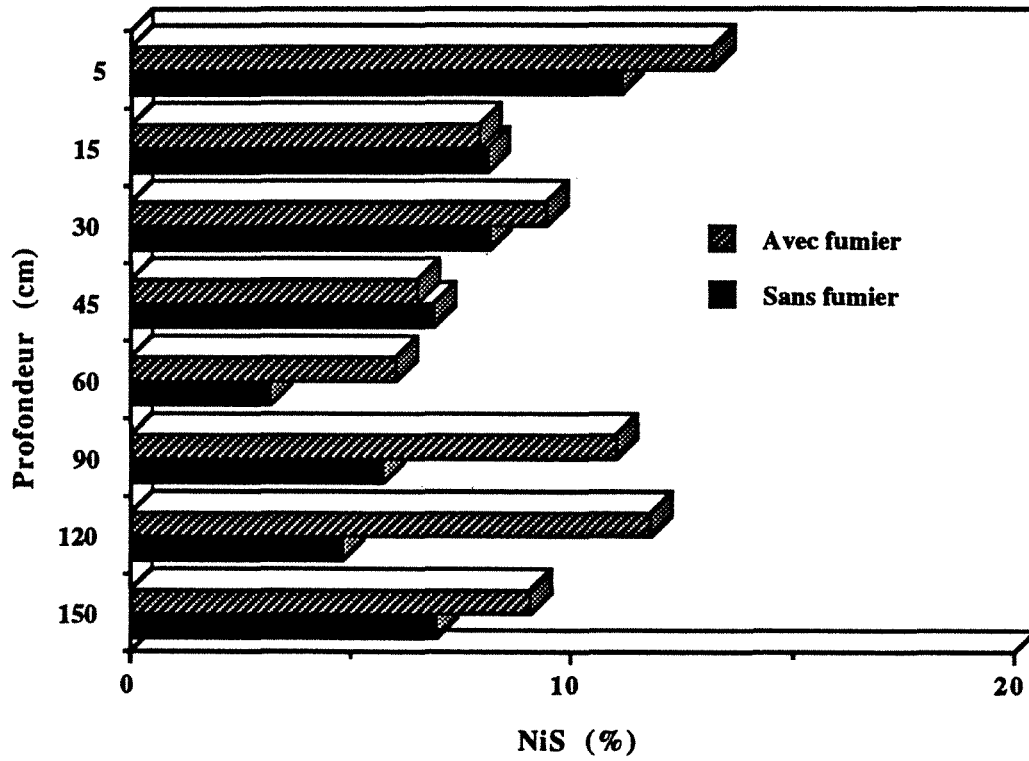


Figure 11 : Profil d'immobilisation de l'azote engrais (NiS %) sous culture de mil à Thilmakha

kgN/ha sous arachide et négligeables pour le mil. Mais ces pertes présentent une grande variabilité spatiale.

II - Conclusion



Nos études ont permis de mettre en évidence que, malgré un fort effet direct, l'engrais azoté sur les céréales est très mal utilisé par la plante ; les C.R.U sont inférieurs à 20%. Mais ceci est un moindre mal, car cet azote a surtout pour effet de mobiliser l'azote du sol (NdfS) qu'il contribue à enrichir grâce à une forte immobilisation. Le NdfS constitue 40 à 50% de l'azote total du mil (tableaux 16, 17 et 18) et l'immobilisation de l'azote engrais est de l'ordre de 50 à 80% (NiS). Cette immobilisation pourra donc avoir un effet rémanent pour les cultures suivantes. Ces résultats sont concordants avec ceux de Ganry (1992) qui trouve des NdfS plus élevés de l'ordre de 50 à 70 % et des NiS plus faibles de l'ordre de 50 %.

Dans l'ensemble, les techniques culturales (labour et apport de fumier) ont une incidence significative sur les rendements des cultures à Bambey et à Thilmakha. On a observé également un C.R.U plus important, donc ces deux techniques sont susceptibles de valoriser les engrais. Ces résultats complètent ceux déjà obtenus en sols sableux au Sénégal sur l'effet du labour sur l'enfouissement de la matière organique et l'activité microbienne (Charreau et Nicou 1971) et sur l'efficacité des fumures (Pieri 1986). De nombreux travaux (Guiraud 1984, Jacquin et Vong 1990, Cheloufi 1991) ont mis en évidence l'étroite relation existante entre ces flux d'immobilisation de l'azote engrais sous forme organique et les différents compartiments azotés présents dans le sol. Nos résultats

montrent que le labour et l'apport de fumier augmentent le compartiment azoté (Nhnd) et le NiS ; ceci nous autorise à penser que l'azote immobilisé se retrouve dans le compartiment Nhnd.

Des études, réalisées par Chopart et Nicou (1971) sur l'enracinement du mil à Bambey, ont montré que 81 % de la masse racinaire totale est localisée entre 0 et 30 cm, 13 % entre 30 et 80 cm et 7 % dans le restant du profil racinaire dont la profondeur n'excède pas 150 cm. Ces résultats autorisent à penser que le Nis (0-45 cm) des sols peut être grandement utilisé par les cultures et que les pertes en profondeur seront fonction de l'état du sol à la période d'installation de ces cultures et aussi de l'intensité des premières pluies de la saison suivante.

Dans les chapitres précédents de ce mémoire, nous avons étudié l'incidence des pratiques culturales sur l'évolution de la matière organique de ces sols tropicaux mais nous devons considérer les processus internes de nature essentiellement biologiques qui gouvernent les transformations des formes et composées organiques au sein du système sol-plante.

SIXIEME PARTIE

**MECANISMES REGISSANT LE STATUT
ORGANIQUE DES SOLS SABLEUX DE LA ZONE
CENTRE-NORD DU SENEGAL**

CHAPITRE IX- EVALUATION DU COEFFICIENT K_2 DES SOLS ÉTUDIÉS

I - Introduction

L'importance des pertes en matière organique des sols cultivés dans la zone tropicale sèche suppose que l'on puisse évaluer un taux de perte annuelle ou coefficient k_2 . D'après Morel (1989), "ce taux traduit de façon globale l'évolution quantitative de la matière organique du sol". Il exprime la proportion de carbone, d'azote ou de matière organique minéralisée au cours d'une unité de temps définie, celle-ci étant habituellement l'année moyenne de la rotation culturale. Leur estimation se fait le plus aisément en prenant comme référence *le sol en état d'équilibre organique* ; dans ce cas et pendant une même unité de temps, "*la quantité de matière organique qui disparaît égale la quantité introduite dans le sol*". On s'est référé pour cela à l'hypothèse généralement admise que ces pertes, variables au cours du temps, sont proportionnelles à la quantité de matières organiques préexistante dans le sol (Jenny 1941, Henin et Dupuis 1945). A partir des données analytiques dont on dispose, on évalue l'évolution du stock organique du sol de Bambey et de Thilmakha sous culture depuis plusieurs années caractérisé par un coefficient communément appelé "coefficient k_2 de minéralisation nette". Cette évolution est sous la dépendance de nombreux facteurs d'ordre physique, chimique et biologique. Charreau et Tourte (1967), Greenland (1970) et Pieri (1989) ont, pour la zone tropicale sèche, tenté d'approcher ce coefficient.

II - Méthodes de calcul

La mesure de ce coefficient repose sur l'état d'équilibre organique des sols étudiés et a été estimée selon plusieurs approches :

- 1^{ère} approche

On fait l'hypothèse qu'après 10 ans de mêmes pratiques culturales, le système a atteint ou est proche de son niveau d'équilibre (Dommergues et Mangenot 1970). La teneur en azote total du sol tend vers la teneur à l'équilibre désigné par N_e . Dans ces conditions, on peut écrire que la variation annuelle de la quantité d'azote organique du sol est nulle, à savoir :

$$\frac{dN}{dt} = A - K_2 \times N_e = 0 \quad (1)$$

Ce qui implique que $A = K_2 * N_e$, A représentant les gains, K_2 le coefficient net annuel de minéralisation. Les gains (A) sont constitués de l'azote fixé (N_2) par la biomasse racinaire et les défoliations, de l'azote engrais immobilisé dans l'horizon contenant 80 % de racines, de l'azote provenant des résidus de récolte et de l'azote de la matière organique (fumier ou compost) apporté au sol. Pour une estimation de ces gains, la quantification de la biomasse racinaire est donc nécessaire.

- 2^{ème} approche

On considère que l'azote minéralisé représente l'azote des parties aériennes de la plante dérivé de la matière organique du sol, native et exogène (N_{dfS}), l'azote perdu par lixiviation (N_I) et l'azote perdu par volatilisation et dénitrification (N_v).

$$N \text{ minéralisé} = N_{dfS} + N_I + N_v$$

N_v étant considéré comme très faible, le coefficient K_2 s'exprime ainsi :

$$K_2 = \frac{N \text{ minéralisé}}{N \text{ total du sol}}$$

- 3ème approche

Une application d'un modèle mathématique relevant de la variation de la matière organique du sol exprimé en azote au cours du temps a été étudié (Charreau et Tourte 1967).

En connaissant N_0 , N_t et N_e , on peut s'affranchir des gains ; d'où la relation :

$$dN/dt = A - K_2 * N_e$$

A l'état d'équilibre $dN/dt = 0$ $A = K_2 * N_e$ (2)

En intégrant l'équation (1), elle devient :

$$N_t = A/k_2 - (A/k_2 - N_0) * e^{-k_2 t}$$

en remplaçant A/k_2 par N_e de l'équation (2) elle devient

$$\frac{N_t - N_e}{N_0 - N_e} = e^{-k_2 t}$$

N_t = teneur en azote du sol à un temps donné

N_0 = teneur en azote du sol à l'état initial ou temps zéro

N_e = teneur en azote dû à l'état d'équilibre

t = temps donné pour effectuer l'évaluation

donc le coefficient s'établit ainsi :

$$K_2 = \frac{\log (N_t - N_e) - \log (N_0 - N_e)}{\log e \times t}$$

Laudelout et al (1960) ont décrit cette équation par un diagramme ; il illustre les effets des différentes constances de décomposition et montre aussi que la différence entre la teneur en matière organique au temps zéro et à l'équilibre décroît selon une fonction exponentielle avec le temps. Plus on est loin de l'équilibre, plus le taux de décomposition de la matière organique est élevé.

Dans le cadre de ce mémoire, cette troisième approche est appliquée parce que les données obtenues dans nos expérimentations de Bambey et de Thilmakha se prétendent à cette forme d'interprétations.

III - Résultats - Discussions

Le coefficient a été calculé sur une période de 14 ans avec les données analytiques des horizons (0-45 cm) regroupées dans les tableaux 1, 2, 7 et 8 des précédents chapitres, mais il faut noter que pour ceux de Bambey les résultats d'analyses effectuées en 1978 (Annexes 20 et 21) par Chopart et Nicou (1989) ont été utilisés en complément des nôtres pour effectuer ces calculs. Les valeurs des coefficients sont consignées dans le tableau 23. Elles indiquent les coefficients obtenus sur les dispositifs expérimentaux étudiés qui sont comparés à ceux obtenus par d'autres chercheurs dans la même zone sur les mêmes agrosystèmes. On observe que pour tous traitements confondus à Bambey, les valeurs du coefficient k_2 sont comprises entre 2,80 et 5,15% ; les plus élevées sont obtenues sur les traitements avec labour. A Thilmakha, les coefficients sont compris entre 3,65 et 7,22% et le plus élevé est obtenu après apport de fumier. De nombreux travaux font état de différentes valeurs de ce coefficient : Siband (1972) a trouvé un coefficient de 4 % sous

culture en Casamance (Sud du Sénégal) ; Charreau (1974) a trouvé aussi pour les sols sous culture à Bambey des valeurs comprises entre 2,6 et 6,5 % et enfin Greenland (1970) et Pieri (1989) indiquent des valeurs de 4% avec des variations allant de 2

Tableau 23 : le coefficient K₂ (%) dans les sols de la zone Centre-Nord du Sénégal

Traitements	Coefficient k ₂
Bambey *	
Culture continue	
Sans labour	2,82 <i>a</i>
Avec labour	4,98 <i>b</i>
C.V %	5,2
Rotation	
Sans labour	2,80 <i>a</i>
Avec labour	5,15 <i>b</i>
C.V %	6,1
Thilmakha	
Sans fumier	3,65 <i>a</i>
Avec fumier	7,22 <i>b</i>
C.V %	4

Les valeurs affectées d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % (Newman et keuls)

*La période 1978-1991 a été considérée pour le calcul de ces coefficients

à 7 % pour toute l'Afrique de l'Ouest. Donc, dans l'ensemble, on observe une cohérence entre nos résultats et ceux obtenus par ailleurs. De plus, nos études mettent en évidence que le labour et

l'apport de matière organique induisent une augmentation de ce coefficient. Deux hypothèses sont émises pour expliquer ce phénomène :

- le labour stimule l'activité microbienne ;
- l'apport de matière organique entraîne une surconsommation du carbone organique qui induit une diminution du stock organique du sol.

Ces deux causes sont vraisemblablement à l'origine d'un important turn-over de la matière organique dans le sol et expliquent les forts coefficients obtenus dans ces sols sableux. Les valeurs des coefficients K_2 obtenues restent cependant plus élevées que celles obtenues en zone tempérée (Vilain 1989).

En conclusion, l'accroissement du coefficient K_2 sous l'effet du labour, s'il prédispose le sol à une grande productivité en revanche il accroît les risques de pertes et nécessite des apports de matière organique plus élevés qu'en absence de labour. L'accroissement du coefficient sous l'effet de l'apport de matière organique conduit à la même conclusion quant aux risques de pertes et pose le problème de la nature de cette matière organique. Il pose aussi le problème du relèvement du taux de la matière organique du sol, d'autant plus difficile qu'on apporte plus de matière organique. Rappelons enfin l'importance de l'érosion, d'après Pieri (1989), si certains itinéraires techniques peuvent induire une progressive déperdition ou amélioration du stock organique des sols, quelques événements érosifs survenus au cours de brèves périodes suffisent à tout remettre en cause.

CHAPITRE X- MINÉRALISATION ET ORGANISATION DE L'AZOTE

I - Introduction

Dans ce chapitre, nous allons étudier le cycle interne de l'azote. Le flux de réorganisation brute peut être évalué par la mesure des teneurs isotopiques organisées après apport d'engrais ^{15}N (Stewart et *al.*, 1963 ; Westerman et *al.*, 1974 ; Guiraud, 1984 ; Vong, 1987). Il faut toutefois signaler que les processus mesurés ne sont que des résultantes des mécanismes de transferts réels ; par exemple, au cours de l'organisation, il peut y avoir la reminéralisation de l'azote fraîchement organisé (Marumoto et *al.*, 1980 ; Higuchi, 1983) ou au contraire la réorganisation d'une partie de l'azote minéralisé (Nishio et *al.*, 1985). Donc, pour apprécier les processus réels, il est nécessaire de connaître les phénomènes bruts de minéralisation et d'organisation. Le recours à l'utilisation des traceurs est indispensable.

Dans notre étude nous avons appliqué la formule proposée par Guiraud (1984). Cet auteur a émis deux hypothèses :

- la variation linéaire de l'excès isotopique de l'azote minéral en fonction du temps entre deux périodes d'analyses ;
- une reminéralisation négligeable du ^{15}N organique au cours de ces deux périodes.

En connaissant la disparition de l'azote minéral entre ces deux intervalles de temps, on peut calculer la quantité "otée" de ce compartiment ou "fuites" et qui représente réellement les quantités organisées (o) plus les pertes. Le calcul est donné par la formule suivante :

$$ot = \frac{XoEo - XE}{\frac{Eo + E}{2}} \quad (1)$$

Xo et X représentent les quantités initiales et finales de l'azote minéral

Eo et E représentent les excès isotopiques initiaux et finaux.

Théoriquement, la quantité (ot) correspond à l'équation suivante :

$$ot = O + \text{pertes (volatilisation + dénitrification)} \quad (2)$$

O = organisation brute (organisation microbienne + immobilisation physico-chimique)

Le calcul de l'organisation brute (O) nécessite la connaissance de la quantité d'azote quinze réellement organisée dans le compartiment organique. En reprenant la même hypothèse de la variation linéaire de l'excès isotopique du compartiment minéral entre deux intervalles de temps considérés, on obtient :

$$O = \frac{\Delta Q_{15org.}}{\frac{Eo + E}{2}} \quad (3)$$

Q₁₅ org. = Quantité d'azote quinze organisée en fin d'incubation.

Dans la formule (2), on déduit les pertes entre deux périodes de mesure ; elles correspondent dans notre étude à la somme de l'azote dénitrifié et (ou) volatilisé. Quant à la minéralisation brute (mt), elle correspond à la somme de l'azote "otée" du compartiment minéral ou "fuites" (ot) plus la minéralisation nette (min) qui a été définie comme la différence entre les quantités d'azote minéral finales et initiales. C'est par l'intermédiaire des formules définies ci-dessus

Tableau 24 Calcul de minéralisation et d'organisation brutes (ppm) à Bambey

Traitements	Jachère			Culture continue			Culture en rotation			C.V %
	0		30	0		30	0		30	
QN min.	50		34	47,5		39,5	50		64	
E (%)	8,86		5,73	8,95		7,34	8,55		4,5	
Q 15N	4,43		1,94	4,25		2,89	4,27		2,88	
Δ Q 15N		2,5			1,36			1,39		
E moyen (%)		7,3			8,14			6,52		
Fuites		34,15			16,7 a			21,31 b		10,5
Q15 org.		0,434			0,2			0,34		
Organisation		6			2,45 a			5,21 b		12,4
Min. nette		-16			-8			14		
Mt		18			8 a			35,3 b		15,2
Pertes		28			14 a			16,8 b		10,1

Les valeurs affectées d'une même lettre sur la ligne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Newman et Keuls).

due à la matière organique persistante dans le sol soumis à la rotation (présence d'une céréale à importante biomasse racinaire dans la succession culturale), dans le sol avec apport de fumier et dans les sols non cultivés (Jachère).

Les travaux de Blondel (1971) montrent que l'activité minéralisatrice de ces sols sableux est fortement stimulée par la biomasse racinaire lorsque la demande en N de la plante est supérieure à l'offre par le sol (sinon la plante oriente le cycle interne de l'azote vers la réorganisation).

II.3 - Organisation brute

L'organisation brute prend en compte à la fois l'organisation microbienne et l'adsorption physico-chimique ; le classement suivant est obtenu :

- Bambey Jachère > Rotation > Culture continue
 (5,9 ppm) (5,2 ppm) (2,4 ppm)
- Thilmakha Jachère ≈ Fumier ≈ Témoin
 (3,2ppm) (3,1 ppm) (2,6 ppm)

Les valeurs obtenues sont très faibles ce qui suggère une activité biologique peu intense ; ces résultats vont dans le même sens que ceux obtenus par Gado Sabo et al. (1991) sur des sols du Niger. Ils ont montré que l'organisation de l'azote minéral ajouté est presque nulle et atteint à peine 5% après 3 mois d'incubation ; par contre, si la paille de mil est ajoutée, ils observent une importante réorganisation de l'azote engrais apporté.

Tableau 25 Calcul de minéralisation et d'organisation brutes (ppm) à Thilmakha

Traitements	Jachère			Sans fumier			Avec fumier			C.V %
	0		30	0		30	0		30	
QN min.	46		28	49		28	50		39,5	
E (%)	9,9		8,21	9,3		7,87	9,1		6,39	
Q 15N	4,55		2,3	4,55		2,2	4,53		2,53	
Δ Q 15N		2,25			2,35			2		
E moyen (%)		9,05			8,58			7,74		
Fuitès		24,86			27,38 a			25,84 b		14,8
Q15 org.		0,29			0,24			0,24		
Organisation		3,2			2,79 a			3,1 a		11,1
Min. nette		-18			-21			-10,5		
Mt		6,8			6,4 a			15,3 b		9,8
Pertes		21,6			24,6 a			22,7 b		12,3

Les valeurs affectées d'une même lettre sur la ligne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (Newman et Keuls).

Les travaux réalisés en Côte d'Ivoire par Chabalier et Pichot (1979) montrent que l'azote engrais apporté ne se réorganise rapidement que si le sol renferme une quantité suffisante de matière organique.

II.4 - Pertes

Rappelons que les fuites représentent réellement les quantités organisées(o) plus les pertes ; celles ci sont calculées par différence entre les fuites et l'organisation brute. Les pertes brutes observées sont très élevées. Le classement suivant est ainsi obtenu :

- Bambey Jachère > Rotation > Culture continue
 (28,2 ppm) (16,8 ppm) (14,2 ppm)
- Thilmakha Témoin > Fumier ≈ Jachère
 (24,6 ppm) (22,7 ppm) (21,6 ppm)

Ces pertes élevées peuvent être dues au caractère acide des sols et à la faible C.E.C. De nombreux travaux réalisés dans la zone tropicale sèche font état de ces pertes d'azote engrais sur sols sableux. Blondel (1967) montre que sur ces sols, bien que généralement acides, les pertes par volatilisation d'ammoniac gazeux se produisent surtout à partir de l'urée. Sanchez (1976) trouve que les pertes peuvent provenir de l'urée et du sulfate d'ammonium mais elles sont beaucoup plus importantes pour l'urée qui favorise une augmentation du pH du sol. Ganry et *al.* (1978) montrent que les accroissements des pertes d'azote engrais dûs à l'enfouissement de paille peuvent être attribuées à la dénitrification ; en revanche sur sol témoin (sans paille) les pertes sont attribuées à la volatilisation.

Le faible excès isotopique de l'azote organique des traitements montre qu'il n'y a pratiquement pas de transfert d'azote sorti du compartiment minéral vers les formes organiques.

Comme l'incubation a été réalisée sur des sols prélevés en saison sèche, la biomasse inter-agrégat présente en majorité dans ces sols est très sensible à la dessiccation et peut ne pas rétablir l'activité biologique en un temps relativement court. D'après Bottner (1985), la biomasse intra-agrégat subsistante dans certains sols non sableux ne rétablirait une activité biologique normale qu'aux environs de quatre semaines d'incubation ; ceci montre donc que dans nos conditions (sols très sableux) cette même durée d'incubation n'est pas suffisante pour déclencher l'activité microbienne. Par contre, dans les conditions in situ en zone tropicale sèche, le flush microbien apparaît dès la première pluie (Dommergues et Mangenot 1970).

III - Conclusion

Il faut préciser que nos recherches ont été réalisées sur des sols prélevés en saison sèche, ce qui peut expliquer un comportement biochimique différent de celui qui peut être rencontré dans les écosystèmes naturels. La minéralisation de l'azote des sols tropicaux est plus importante en cas d'alternance des périodes sèches et humides qu'en périodes de pluies régulières (Blondel 1967 ; Dommergues et Mangenot 1970 ; Sanchez, 1976). Nous avons observé des faibles rythmes de nitrification sauf pour les traitements rotation à Bambey et avec apport de fumier à Thilmakha. De petites variations des excès isotopiques de l'azote minéral entre 0 et 30 jours ont été obtenues ce qui explique que la

sol ; ceci est lié à la faiblesse de la nitrification. Les pertes gazeuses obtenues peuvent être attribuées en majorité à la dénitrification (bien que de petites quantités de nitrates aient été obtenues en fin d'incubation) et vraisemblablement peu à la volatilisation.

Pour mieux contrôler la cinétique de la minéralisation-organisation de l'azote engrais dans ces sols sableux, une autre méthodologie d'étude nous semble très importante par la pré-incubation des sols de quelques jours ou semaines avant l'apport de l'azote minéral. Cette technique permettrait certainement de relancer l'activité biologique de ces sols. Bien que l'on ait observé une minéralisation-organisation peu importante lors de cette étude en milieu contrôlé, une intense minéralisation de la matière organique est toujours observée in situ en début de la saison pluvieuse dans ces sols tropicaux (Dommergues et Mangenot 1970 ; Blondel, 1971 ; Sanchez, 1976 ; Lamotte et al., 1978 ; Gigou, 1982).

Dans le prochain chapitre, nous allons mettre en évidence l'activité microbienne par l'évaluation du carbone de la biomasse de tous les traitements étudiés pendant la saison pluvieuse.

CHAPITRE XI- EVALUATION DU CARBONE DE LA BIOMASSE MICROBIENNE DES SOLS

I - Introduction

Les micro-organismes du sol jouent un rôle fondamental dans le cycle biogéochimique des éléments intéressant la production agricole. Ils interviennent au niveau du cycle du carbone dans les processus de minéralisation-humification de la matière organique du sol. Leur importance est également déterminante dans le cycle de l'azote, où toutes les transformations sont sous contrôle microbien. Enfin, ils constituent par eux-mêmes une part non négligeable de la matière organique du sol. De nombreux auteurs : Mary (1978), Lefèvre et *al.* (1981) et Laudelout et Lambert (1982) ont fait état respectivement d'une part de l'importance de la variation saisonnière de la population microbienne et de son influence sur la minéralisation de l'azote et d'autre part des effets des apports organiques et minéraux sur le comportement de l'azote dans le sol.

Pour mesurer la biomasse microbienne, de nombreuses méthodes ont été proposées. Une étude critique des différentes techniques disponibles (Nicolardot et *al.* 1982) a permis de montrer que la méthode de fumigation au chloroforme préconisée par Jenkinson et Powlson (1976) s'avère la plus intéressante.

Cette méthode de fumigation au chloroforme permet d'accéder le plus directement aux quantités de carbone présentes dans la biomasse microbienne. Cette technique estime la biomasse microbienne d'après le "flush" de minéralisation du carbone. Un des

problèmes rencontrés consiste à attribuer une valeur au coefficient k_c (k_c = carbone microbien minéralisé/carbone microbien apporté). La minéralisation des microorganismes est à la fois sous la dépendance des types de sol et des types de microorganismes. Selon Nicolardot et al (1984), l'effet du sol rend compte de 58% de la variation totale contre 32% pour l'effet des souches microbiennes. Si la valeur moyenne k_c égale à 0,41 est effectivement confirmé par Anderson et Domsch (1978), Chaussod et Nicolardot (1982), Nicolardot et al (1984) et par Voroney et Paul (1984), il convient d'insister sur la variabilité de ce coefficient selon le type de sol.

II - Méthodes de calcul

Le carbone de la biomasse microbienne a été calculé d'après cette formule de Chaussod et Nicolardot (1982) :

$$\frac{C - CO_2 (0 - 7 \text{ jours}) - C - CO_2 (7 - 14 \text{ jours})}{K_r}$$

- C-CO₂ (0-7 jours) = Carbone total dégagé des échantillons de sol fumigé après 7 jours d'incubation

- C-CO₂ (7-14 jours) = Carbone total dégagé des mêmes échantillons de sol fumigé après 14 jours d'incubation

- k_c = taux de minéralisation ~ 0,41

III - Résultats - Discussion

Les études ont été réalisées à 3 époques : en saison sèche, après semis et à la récolte sur les sols (horizon 0-45 cm) des deux

dispositifs expérimentaux. Les résultats obtenus sont représentés par les figures 12 et 13. L'ensemble des valeurs sont consignées en annexes 22 et 23. A Bambey, les valeurs du carbone de la biomasse microbienne pour tous traitements confondus s'échelonnent entre 59 et 82 mgC par kg de sol en fin de saison sèche, entre 85 et 123 mgC par kg de sol après semis et entre 94 et 170 à la récolte. Donc, on observe une variation saisonnière de la biomasse microbienne ; celle-ci est vraisemblablement liée aux types de microorganismes présents à chaque époque de l'année dans le sol (Alexander, 1977). Ces résultats concordent avec ceux publiés récemment par Collins et al (1992). Les résultats obtenus comparés à ceux des sols non cultivés (Jachère) sont plus faibles ; ils représentent 40 à 50% au semis et 20 à 30% à la récolte du carbone total de la biomasse de la jachère. Ce phénomène serait expliqué d'après Alexander (1977) par le fait que sous jachère on a affaire à un type de rhizosphère plus fibreuse avec beaucoup plus de microorganismes types "*Pseudomonas*" donc une activité microbienne intense contrairement au sol cultivé où l'enracinement des végétaux cultivés est très différent.

Il faut aussi signaler que la méthode de fumigation au chloroforme applicable aux sols cultivés présente des limitations pour les sols sous jachère ; car leur densité racinaire est importante donc plus riche en matière organique et on sait que la fumigation peut entraîner une surestimation du carbone de ces sols (Jenkinson et al. 1976).

Sur sol ayant reçu du fumier, la biomasse augmente par rapport au témoin sans fumier ; celle-ci est due au fait que l'application du fumier entraîne un gain de carbone et d'azote minéralisable qui stimule l'activité et le développement microbiens du sol.

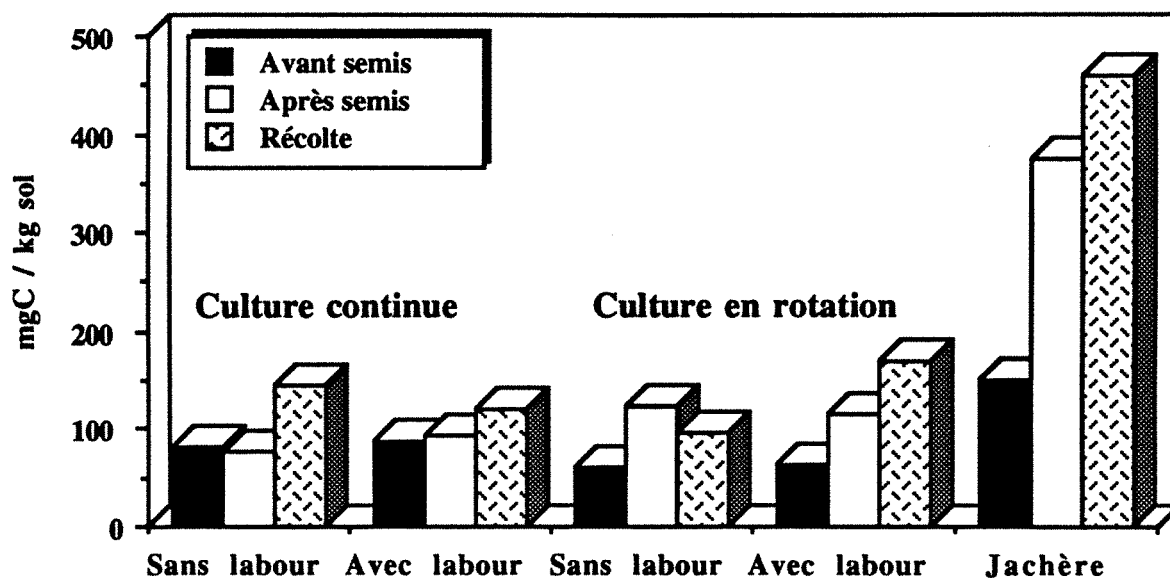


Figure 12 : Evolution du carbone de la biomasse microbienne des sols de Bambeys

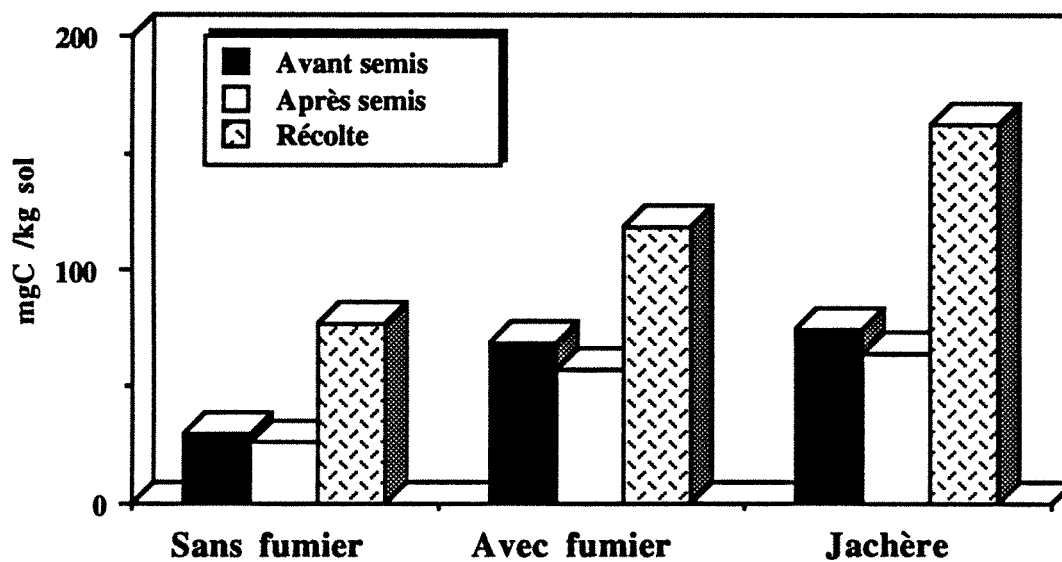


Figure 13 : Evolution du carbone de la biomasse microbienne des sols de Thilmakha

Les valeurs du carbone de la biomasse microbienne varient entre 3,6 et 10,0% à Bambey et 2,1 à 8,0% à Thilmakha par rapport au carbone total du sol.

Comparativement aux zones tempérées les quantités globales en valeur absolue obtenues dans la zone Centre Nord du Sénégal sont faibles ; néanmoins, elles se rapprochent des valeurs trouvées en sols sableux par Chaussod et al. (1986).

D'autre part, nous avons observé que les valeurs de la biomasse, exprimées en pourcentage du carbone total de ces sols, sont plus élevées que celles obtenues en zone tempérée. Ceci peut être expliqué par le fait que ces sols de nature sableuse ont une activité biologique plus intense par rapport à certains sols tempérés qui présentent des quantités d'argile importantes. Selon Duchaufour (1970), les processus de biodégradation de ces derniers sont freinés par les fortes teneurs en argile.

Pour les deux dispositifs et quels que soient les traitements, la biomasse globale exprimée en % C total du sol présente une relation avec le compartiment azote hydrolysable non distillable (Nhnd) du sol (figure 14) ; ces résultats confirment ceux obtenus par Vong et al (1990). On observe sur la figure 14 que les traitements rotation (avec et sans labour) à Bambey et ceux de Thilmakha présentent une relation étroite entre la biomasse C exprimée en % C total et le Nhnd exprimé en % N total ; celle-ci nous explique l'origine microbienne de cet azote. L'importante immobilisation biologique de l'azote et l'activité microbienne intense du sol survenues en fin de cycle procèdent du mécanisme de réorganisation déjà mis en évidence par Dommergues et Mangenot (1970) et Pichot et al (1981) ; cette réorganisation est de ce fait très dépendante des techniques culturales.

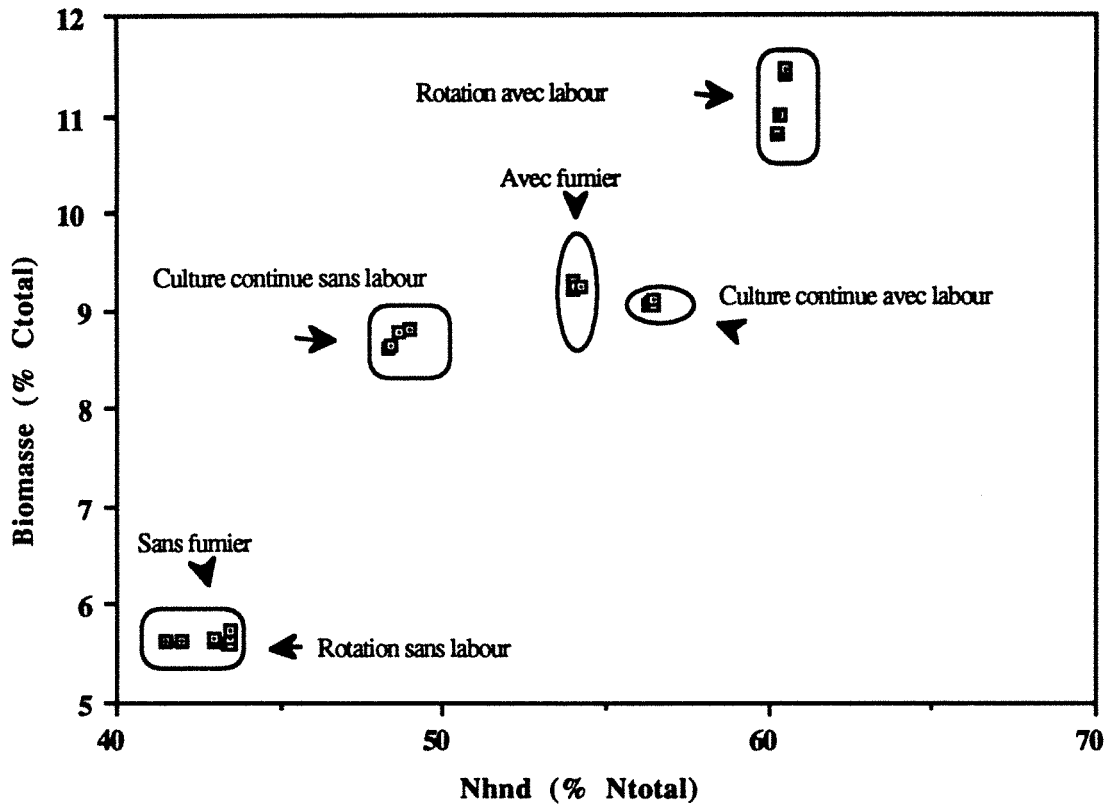


Figure 14 : Relation entre le carbone de la biomasse microbienne et l'azote hydrolysable non distillable des sols sableux de la zone Centre-Nord du Sénégal

L'ensemble des résultats obtenus montre que l'augmentation de la biomasse microbienne en fin de cycle va jouer un rôle prépondérant dans le cycle interne de l'azote en alimentant le pool d'azote mobilisable du sol et que la forte immobilisation de l'azote engrais dans le sol à la même période (chapitre VIII) est aussi la condition nécessaire au pic de minéralisation obtenue en début de saison pluvieuse. Enfin, la plante, par son enracinement, aura un effet considérable sur ces mécanismes.

DISCUSSION ET CONCLUSION GÉNÉRALE

* *

Le statut organique d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé de texture sableuse de la zone Centre-Nord du Sénégal a été étudié sur deux dispositifs de longue durée où les pratiques culturales (labour avec et sans apport de fumier et diverses successions culturales) ont induit une différenciation dans la productivité du sol.

*

* *

Une enquête réalisée dans deux villages représentatifs de la zone Centre-Nord a permis d'évaluer les quantités de matière organiques disponibles et leur utilisation. Les résultats obtenus ont montré que, dans l'ensemble, les productions de résidus de récolte sont très variables et comprises entre 1,5 et 2,5t M.S./ha, tandis que la production de fumier varie entre 0,75 et 6t M.S./ha par exploitation, 60% des superficies cultivables ne reçoivent pas plus de 1t M.S./ha et seulement 40 % reçoivent des doses supérieures à 2 t M.S/ha. Il est important de signaler qu'une partie des résidus organiques (déjections d'animaux) est utilisée comme combustibles ce qui ne se faisait pas naguère. Les résultats montrent que les quantités de matière organique potentiellement disponibles dans ces zones sont très faibles, mais une gestion rationnelle en est possible, entre d'une part les usages domestiques et d'autre part l'usage agricole par le biais du compostage et des fosses fumières. Les résultats montrent que les paysans, sur une portion de leurs champs (champs de cases) relativement proches de leurs habitations, concentrent leurs investissements (labour et apport de matière organique). Ceci, compte tenu de leurs moyens, est une

nécessité face aux problèmes pressants. Cette situation a abouti à la dégradation d'une grande partie des terres cultivables (pertes en matière organique très importante et érosion) au cours du temps.

*

* *

L'homme par le biais des techniques culturales (travail du sol et engrais) participe à la modification des fonctionnements actuels des sols, donc de leurs propriétés, et conditionne leurs futurs. Nos résultats ont confirmé l'importance de ces pratiques (travail du sol) sur les rendements des cultures naguère mis en évidence en essais "longue durée" ; on observe un accroissement moyen des rendements en arachide de 23 % en culture continue et de 17 à 20 % respectivement pour la culture d'arachide et de mil en rotation. Ces résultats ont permis aussi de mettre en évidence l'efficacité agronomique des faibles apports de fumier (4 t M.S/ha/an) sur les rendements des cultures : on observe une augmentation de 43 % pour le mil et de 23 % pour l'arachide par rapport au témoin sans fumier. Mais on observe après 30 ans de culture à Bambey une diminution du taux de carbone et d'azote du sol et une acidification avec comme corollaire l'apparition de l'aluminium échangeable sur le complexe absorbant. Après 11 ans d'apports de fumier à Thilmakha, on obtient une augmentation annuelle de 1 et 3,5% respectivement pour le carbone et l'azote du sol, alors que les teneurs de ces éléments en sol témoin (fumure minérale seule) ont accusé une forte baisse. L'aluminium échangeable sur le complexe absorbant du sol témoin a aussi considérablement augmenté au cours de ces années de cultures.

Si la mise en culture a entraîné une diminution du stock organique de ces sols sableux, il est cependant important de signaler que le

travail du sol réalisé dans de bonnes conditions et l'apport continue de matière organique pourra entretenir une productivité durable de ces sols.

Le fractionnement des composés organiques azotés dans ces dispositifs a montré une prédominance de la forme alpha-aminée (Nhnd) ; les pratiques culturales (labour et apport de fumier) ont influencé de manière significative et positive cette fraction qui est considérée comme une forme de réserve de l'azote.

L'utilisation de l'azote ^{15}N a permis d'évaluer le coefficient réel d'utilisation de l'azote engrais appliqué à la culture de mil ; on observe des CRU très faibles (10-17 %), par contre l'azote réorganisé dans le sol représente 40 à 80 %. Les efficacités approchées par excès (%CRU + %NiS) de l'engrais apporté sont comprises entre 56 et 95%, ce qui représente un défaut de bilan compris entre 4 et 44% que nous assimilons aux pertes. Ces pertes de l'azote engrais peuvent être attribuées en majorité à la dénitrification mais aussi à la lixiviation (car un pourcentage non négligeable d'azote réorganisé dans le sol a été mesuré à une profondeur de 1,50m). La capacité fixatrice de l'azote par l'arachide dans les deux dispositifs a été évaluée ; quantitativement l'azote atmosphérique fixé varie en moyenne entre 5 et 45 kg/ha pour tous traitements confondus. Les pratiques culturales adoptées ont eu une incidence significative et positive sur l'azote fixé symbiotiquement.

A partir des analyses de sols, le coefficient K_2 a été calculé pour tous les traitements étudiés ; les valeurs sont comprises entre 2,8 et 7,2 % et les plus élevées sont celles des traitements avec labour et avec apport de matière organique. On observe qu'en intensifiant les cultures on augmente aussi les pertes en matières organiques.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence l'importance des pratiques culturales sur l'activité microbienne des sols. Le carbone de la biomasse a été étudié à 3 époques (avant semis, après semis et à la récolte), on observe des valeurs significativement plus élevées à la récolte. Celles ci sont corrélées fortement à l'azote hydrolysable non distillable des sols. L'intense activité microbienne et l'importante réorganisation de l'azote au moment de la récolte ont une incidence bénéfique sur le pouvoir alimentaire du sol et contre l'acidification des sols ; en effet, cette réorganisation de l'azote à la récolte est "protégée" par la dessiccation du sol en saison sèche ; puis la reprise de l'activité microbienne lors des premières pluies de la saison suivante entraîne un flux important de minéralisation (pic de minéralisation). Or dans ces sols sableux une forte perméabilité peut entraîner les nitrates en profondeur (ce qui a été bien montré par ailleurs : Pieri 1982 et Poss 1991) lesquels associés aux ions calcium contribueront à l'acidification des sols. Seul un développement racinaire suffisamment précoce, profond, dense ainsi qu'une forte réorganisation de l'azote après la période d'absorption active permettront de lutter efficacement contre l'acidification.

*

* *

Les pratiques culturales étudiées dans les deux dispositifs "longue durée" de ce mémoire sont considérées comme essentielles pour la reconstitution de la fertilité des sols. Il faut cependant signaler que chacune d'entre elles présente des contraintes dans les conditions actuelles de la zone tropicale sèche :

- la rotation est adoptée en partie par les paysans mais ils sont confrontés à la disponibilité et à la qualité des semences des cultures à mettre en place ;

- le labour adopté par une majorité de paysans pose toujours un problème de disponibilité en matériel agricole, de temps de travail et de bonnes conditions de réalisation ;

- les engrais minéraux sont reconnus comme indispensables par les paysans mais leur prix et leur disponibilité en début de campagne déterminent la décision d'achat et le taux d'utilisation ;

- le fumier est pour l'ensemble des paysans une alternative possible mais la limitation de son utilisation au profit des champs de cases accélère la dégradation des sols de la zone périphérique du terroir ; il est le plus souvent mal composté et son incorporation au sol est difficilement réalisable ;

- enfin la jachère est quasi-inexistante (2 à 3 ans pas plus), et la gravité des besoins alimentaires immédiats la rend caduque.

*

**

Les pratiques culturales à l'échelle de la parcelle dont les effets ont été quantifiés dans ce mémoire présentent des avantages indéniables ; la plus efficace (enfouissement de fumier) est difficilement généralisable par suite de faibles disponibilités en biomasse végétales (résidus de récolte, herbes de brousse et jachère cultivée) aggravée par les aléas climatiques et la pression foncière. Il est donc indispensable d'envisager une **stratégie globale** pour assurer l'**amélioration** et ou le **maintien durable** du **statut organique** des sols qui ne peut être mise en oeuvre qu'à l'échelle du terroir. Cela impliquerait :

- des mesures adéquates de droit foncier incitant le paysan à investir à long terme sur les parcelles exploitées bien que la loi sur le domaine national au Sénégal reste toujours d'actualité;

- l'association agriculture-élevage en développant la culture des légumineuses fourragères utilisables pour l'alimentation du bétail et pour la fertilisation organique des sols ;

- l'aménagement de type agroforestier prenant en compte les besoins en bois de feu de la population et par l'implantation de brises vents, de haies pour lutter contre l'érosion éolienne et de haies vives pour l'alimentation du bétail et aussi pour la régénération des terres dégradées.

L'ensemble de ces mesures permettra à long terme de lutter contre la dégradation de ce milieu fragile.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADETUNJI S. A., AGBOOLA A. A., 1974. Fertilizers in the improvement of shifting cultivation in Africa. FAO. Soil bulletin 24 : 217-237.

AGBOOLA A. A., 1976. Problèmes inhérents à l'amélioration de la fertilité des sols par la fumure verte dans les systèmes agricoles tropicaux. Emploi des matières organiques comme engrais. Bulletin Pédologique FAO., 27 : 154-161.

A.I.E.A (Agence Internationale pour l'énergie Atomique), 1990. Use of nuclear techniques in studies of soil plant relationships. (ed. G. Hardarson) I.A.E.A. Vienna, 223 p.

ALEXANDER M., 1977. Introduction to soil microbiology. 2nd ed. John Wiley et Sons, New York, 350 p.

ALLARD J.L., BERTHEAU Y., DREVON J.J., SEZE O., GANRY F., 1982. Ressources en résidus de récolte et potentialités pour le biogaz au Sénégal. Agron. Trop., 38 : 213-221.

ANDERSON J.P.E., DOMSCH K.H., 1978 a. Mineralization of bacteria and fungi in chloroform fumigated soil. Soil. Biol. Biochem. 10 : 207-213.

ANDERSON J.P.E., DOMSCH K.H., 1978 b. A physiological method from quantitative measurement of microbial biomass in soil. Soil. Biol. Biochem. 10 : 215-221.

ARRIVETS J., 1976. Exigences minérales du sorgho. Etude d'une variété voltaïque à grande tige. Agron. Trop., 31 (1) : 29-47.

BADIANE N.A., GANRY F., 1990. Evaluation et utilisation de la matière organique en zone Soudano-Sahélienne Ouest Africaine. Cas de deux villages du Centre-Nord Sénégal, 13 p. (soumis à publication).

BADIANE N.A., GUEYE F., 1992. Measuring nitrogen fixed by groundnut varieties in Senegal using ¹⁵N technics : 277-282 In John Wiley & sons, K. Mulongoy, M Gueye, D.S.C. Spencer (eds.)- *Biological Nitrogen Fixation and Sustainability of tropical agriculture* ; Sayce Publishing (U.K.) and I.I.T.A.-A.A.B.N.F.

BALANDREAU J., DUCERF P., 1978. Activité nitrogénasique (C_2H_2 in situ) : mesure, analyse des facteurs existants, comparaison de systèmes fixateurs d'azote. *In* : *Isotopes in Biological Dinitrogen fixation* I.A.E.A. (ed) Vienna : 173-189.

BLONDEL D., 1967. Importance réelle des pertes par volatilisation de l'ammoniaque en sol sableux (dior). *In* : *Colloque sur la fertilité des sols tropicaux*. IRAT (ed). Tananarive 10-25 Nov. 1967 Tome I : 500-504.

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

BONFILS P., FAURE J., 1956. Les sols de la région de Thiès. *Bull. Agron.* 16, : 5-92.

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. Biochem.*, 17 (3) : 329-337.

BOUFFIL F., 1950. Réflexions sur les terres d'Afrique soudanienne dites épuisées. Les possibilités de les améliorer. Rôle primordial de l'humus. *Bulletin Agronomique, Annales du C.R.A de Bambey au Sénégal*, 6 : 41-45.

BOUYER S., 1962. Fertilité et fertilisation des sols en Afrique Occidentale. Aspects méthodologiques. Exemples concrets. Document présenté à la réunion FAO sur la fertilité des sols et l'utilisation des engrais en Afrique Occidentale - Ibadan, Nigéria, 12 p.

BREMNER J.M., 1965. Organic form of nitrogen. *In* : C.A. Black (ed). *Amer. Soc. Agronomy, Madison* : 1238-1255.

BRIGAUD P., 1965. Le climat. *Etudes Sénégalaises n° 9, C.R.O.S.*

CHABALIER P.F., 1976. Contribution à la connaissance du développement de l'azote du sol et de l'azote de l'engrais dans un système sol-plante. Thèse de Docteur Ingénieur, Faculté des Sciences d'Abidjan, 135 p.

CHABALIER P.F., PICHOT J., 1978. Nitrogen fertilizer utilization in a two year crop rotation of rice maize cotton in central Ivory Coast. *In* Buddenhagen, I W. et Persley G.J (eds) *Rice in Africa*. Compte rendu de la conférence organisée à l'IITA. Londres (Royaume Uni), Academic Press.

CHABALIER P.F., PICHOT J., 1979. L'utilisation de l'azote engrais par la culture de maïs en Côte d'Ivoire. In "Isotopes and Radiation in Research on soil plant relationship". Proc. Symp. Colombo, I.A.E.A. (ed) : 33-47.

CHALK P.M., 1985. Estimation of N₂ fixation by isotopes dilution : an appraisal of techniques involving ¹⁵N enrichment and their application. Soil. Biol. Biochem., 17 : 389-410.

CHARREAU C., TOURTE R., 1967. Le rôle des facteurs biologiques dans l'amélioration du profil cultural dans les systèmes d'agriculture traditionnels de la zone tropicale sèche. In : *Colloque sur la fertilité des sols tropicaux*. IRAT (ed.) Tananarive : 1498-1517.

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. Agron. Trop., 23 (vol. 2, 5, 9, 11) , 470 p.

CHARREAU C., 1974. Soils of tropical Dry-Wet climatic Areas of west Africa and their use and management. A series of lectures at the Department of Agronomy Cornell University, Agronomy Mimeo, Ithaca, New York. 14853, 453 p.

CHAUSSOD R., NICOLARDOT B., 1982. Mesure de la biomasse microbienne dans les sols cultivés. I Approche cinétique et estimation simplifiée du carbone facilement minéralisable. Revue d'Ecologie et de Biologie du sol, 19 (4) : 501-502.

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

CHELOUFI H., 1991. Etude du devenir des fertilisants azotés minéraux dans quatre types de sols cultivés lorrains : conséquences agronomiques et écologiques. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques. Institut National Polytechnique de Lorraine. 150 p.

CHOPART J.L., 1980. Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide, mil, sorgho, riz pluvial). Thèse de Doctorat en Production végétale et qualité des produits. Institut National Polytechnique de Toulouse, 160 p.

CHOPART J.L., NICOU R., 1976. Influence du labour sur le développement racinaire de différentes plantes cultivées au Sénégal. Conséquences sur leur alimentation hydrique. *Agron. Trop.* 31 (1) : 7-28.

CHOPART J.L., NICOU R., 1989. Vingt années de culture continue avec et sans labour en sec au Sénégal. *Agron. Trop.*, 44 (4) : 269-281.

CISSE L., 1980. Suivi de facteurs physico-chimiques de la fertilité des sols sous culture continue dans l'unité expérimentale de Thyssé-Kaymor, Sonkorong Bambey, CNRA-ISRA, 50 p.

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 Sénégal. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy 184 p.

COLLINS H.P., RASMUSSEN P.E., DOUGLAS C.L. JR, 1992. Crop rotation and residue management effects on soil carbon and microbial dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56 : 783-788.

COUSIN J.F., 1981. Biogaz-compost : bilan des recherches - potentialités de la filière en Haute Volta. Rapport de stage, 59P.

DAN KOFOED A., NEMMING G., 1976. Fertilizers and manure on sandy and loamy soils. *Ann. Agron.*, 27 (5, 6) : 583-610.

DEAT M., DUBERNARD J., JOLY A., JEGMENT G., 1976. Exportation minérale du cotonnier et de quelques cultures tropicales en zone de savane Africaine. *Coton, Fibres. Trop.*, 31 (4) : 410-418.

DECAU J., 1968. Contribution de l'influence des conditions du milieu sur la répartition de l'azote dans le sol. Principales formes d'azote obtenues par hydrolyse. *Ann. Agron.*, 19 : 653-683.

DE LA LANDE CREMER L.C.N., 1976 a. Etude de l'entretien de l'humus en sol cultivé avec ou sans fumier. *Ann. Agron.*, 27 (5-6) : 781-789.

DE LA LANDE CREMER L.C.N., 1976 b. Etude comparée des effets de fumier de ferme et des engrais minéraux sur le sol sablonneux de tourbe. *Ann. Agr.*, 27 (5-6) : 791-801.

DELAS J., 1971. Evolution des propriétés d'un sol sableux sous l'influence d'apports massifs et répétés de matière organique de différentes origines. *Ann. Agron.*, 22 (5) : 19-27.

DELAS J., JUSTE C., GOULAS J.P., 1973. Matières organiques et fertilité des sols. Contribution à l'étude des effets de la matière organique sur les rendements et la qualité des récoltes ainsi que l'évolution du milieu. *B.I.I.*, 285 : 842-855.

DOMMERGUES Y., MANGENOT F.G., 1970. *Ecologie microbienne du sol*. Paris, Masson, 795 p.

DORAN J.W., SMITH M.S., 1987. Organic matter management and utilization of soil and fertilizer nutrients : 53-72. In J.J. Mortvedt et al (ed.). *Soil fertility and organic matter as critical components of production systems*. SSSA Spec. Publ.19. SSSA, Madison, WI.

DUCHAUFOR PH., 1970. *Précis de pédologie*. Masson et Cie, 481p.

DUPONT DE DINECHIN B., 1967. Résultats concernant les effets comparés de la fumure minérale et organique. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux. Tananarive, tome 2 : 1411-1428.

EGOUMENIDES C., RISTERUCCI A., MELEBOU R.E., 1987. Appréciation de la fertilité azotée des sols tropicaux : Etude des fractions organiques de l'azote. *Agron. Trop.*, 42 : 85-93.

EGOUMENIDES C., 1990. Fractions de l'azote organique dans les sols tropicaux et fertilité azotée. *Agronomie et Ressources Naturelles en régions tropicales*, Ed. IRAT Montpellier : 317-321.

FALLAVIER D., BABRE D., BREYSSE M., 1985. Détermination de la C.E.C des sols tropicaux acides. *Agron. Trop.*, 40 (4) : 298-308

FAURIE G., 1980. Devenir de l'ammonium en sol calcaire : nitrification et volatilisation de l'ammoniac. Thèse d'Etat Université Claude Bernard Lyon I, 285 p.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION, 1989. *Organic recycling in Africa*. Rome. FAO Soil Bulletin 43, 304 p.

FRANCOIS C., 1988. Devenir à court terme de différentes formes d'azote (urée, végétaux, sol) dans un ferrisol (Martinique). Caractérisation de l'azote organique par fractionnement granulométrique. Etude avec ^{15}N . Thèse de Doctorat de l'Université de Nancy I, 173 p.

FRANQUIN P., FOREST F., 1977. Des programmes pour l'évaluation et l'analyse fréquentielle des termes du bilan hydrique . *Agron. Trop.*, 32 (1) : 7-11.

FRIED M., DEAN L.A., 1952. A concept concerning the measurement of available soil nutrient. *Soil Sci.*, 73 : 263-271.

FRIED M., BROESHART H., 1975. An independant measurement of the amount of nitrogen fixed by a legume crop. *Plant and Soil*, 43 : 707-711.

FRIED M., MIDDLEBOE V., 1977. Measurement of amount of nitrogen fixed by a legume crop. *Plant and Soil*, 47 : 713-715.

FRISSEL M.J., 1978. *Cycling of mineral nutrient in agricultural ecosystem*. London-Elsevier, 356 p.

GADO SABO M., GUIRAUD G., MAROL C., 1991. Etude au laboratoire avec ^{15}N des transferts d'azote dans un sol du Niger. *In Stables Isotopes in plant Nutrition, Soil Fertility and Environmental Studies*. Proceedings of a symposium. I.A.E.A Vienna.

GANRY F., GUIRAUD G., DOMMERMUES Y.R., 1978. Effect of straw incorporation on the yield and nitrogen in the sandy soil pearl millet cropping system of Senegal. *Plant and Soil*, 50 : 647-662.

GANRY F., GUIRAUD G., 1979. Mode d'application du fumier et bilan azoté dans un système mil-sol sableux du Sénégal. Etude au moyen de l'azote 15 . *In Isotopes and radiation in Research on Soil-Plant relationships*. Compte rendu du Colloque de Colombo, Vienne (Autriche) A.I.E.A.

GANRY F., 1980. The importance of cultural methods to increase the facility of nitrogen (N_2) fixed by a groundnut crop in the Sudano-sahelian zone of Senegal. *In : Organic recycling in Africa*, Colloque F.A.O.-SIDA, BUEA. (Cameroon). *Soil Bulletin*, 43 : 168-175.

GANRY F., 1984. Importance des enfouissement de matière organique dans l'amélioration des systèmes cultureux au Sénégal. Cours National de Formation : Aménagement des sols et recyclage organique. F.A.O., Yaoundé (Cameroun), 40 p.

GANRY F., 1990. Application de la méthode isotopique à l'étude des bilans azotés en zone tropicale sèche. Thèse de Doctorat d'Etat ès. Sciences Naturelles, Université de Nancy I, 255 p.

GANRY F., BADIANE A., 1991. Utilisation efficace des engrais pour accroître la production végétale. Efficience de l'urée sur maïs : 227-234. *In* : *Alleviating soil fertility constraints to increased crop production in West Africa* (A. Uzo Mokwunye ed.). Development in Plant and Soil Science. Kluwer Academic publisher.

GIBSON A.H., DREYFUS B.L., DOMMERGUES Y.R., 1982. Nitrogen fixation by legumes in the tropics. *In* : *Microbiology of tropical soils and productivity*. Dommergues Y.R, Diem G.H. (ed.), Martinus Nijhoff and Wijunk, The Hague : 37-73.

GIGOU J., 1982. Dynamique de l'azote minéral en sol nu, ou cultivé des régions tropicales sèches du Nord Cameroun. Thèse de Docteur Ingénieur Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 130 p.

GIGOU J., GANRY F., PICHOT J., 1985. The nitrogen balance in some tropical agrosystem. In Kang B.T. and Van der Heide J. (eds). *Nitrogen management in farming system in humid and subhumid tropics* (Haque, Pays Bas), Institute of soil fertility.

GIGOU J., 1992. L'azote dans les systèmes de culture du Nord et du Centre de la Côte d'Ivoire : 377-393. *In* : *Biological Nitrogen fixation and sustainability of tropical agriculture*. K Mulongoy, M Gueye, D.S.C. Spencer, (eds.) Sayce Publishing (U.K.) John Wiley and Sons.

GODEFROY P., 1974. Evolution de la matière organique du sol sous culture de bananier et de l'ananas. Relation avec la structure et la capacité d'échange cationique. Thèse de Docteur Ingénieur de l'Université de Nancy I : 158 p.

GRAFFIN P.H., 1971. Etude intégrée de la décomposition d'apport organique dans le sol. Evolution du carbone et de l'azote, liaison à la fraction minérale, modification des propriétés physiques. *Ann. Agron.*, 22 (2) : 213-239.

GREENLAND D.J., 1962. Dinitrification in some tropical soils. *J. Agric. Sci.*, 58 : 227-233.

GREENLAND D.J., 1970. The maintenance of shifting cultivation versus the development of continuous management systems. *In* : *Seminar on traditional system of african agriculture*, Ford foundation-IRAT-IITA, Ibadan, Nigeria, 16-20 Nov., 10 p.

GREENLAND D.J., 1977. Contribution of microorganism to the nitrogen status of tropical soils. *In* : *Biological nitrogen fixation in farming system of the tropics*. A.N. Ayanaba and P.J. Dart (eds.) John Wiley and Sons, N.Y. : 13-25.

GUCKERT A., JACQUIN F., 1973. Interaction climat-matière organique et stabilité structurale dans les sols limoneux. Bulletin ENSAIA, 2 : 69-100.

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

HAILE A., 1987. Comparaison de 2 méthodes d'extraction d'azote minéral. Doc. IRAT, 11 p.

HEAL O.W., 1979. Consequences of non assimilation of nitrogen by plants. *In* : *Nitrogen assimilation of plants*. E.J. Hewitt and C.V. Cutting (eds.), Academic Press, London : 625-636.

HENIN S., DUPUIS M., 1945. Essai des bilans de la matière organique du sol. Ann. Agron., 1 : 16-27.

HENZELL E.F., VALLIS I., 1977. Transfer of nitrogen between legumes and others crops. *In* *Biological nitrogen fixation in farming system of the tropics*. A.N. Ayanaba and P.J. Dart (eds.) John Wiley and sons, N.Y. : 73-88.

HERRIDGE P.F., 1987. A whole system approach to quantify biological nitrogen fixation by legumes associated gains and losses of nitrogen in agricultural systems. Department of Agriculture. Agricultural Research Center R.M.B. 944 Tamworth N.S.W Australia, 25 p.

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 Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine , 134 p.

HIGUCHI M., 1983. Immobilization-remineralization of nitrogen in soil following addition of inorganic and organic substances. Bull. of the National Institute of Agricultural Science, B, 84, 81 p.

JACQUIN F., 1985. Dynamique de la matière organique en sols cultivés sous climat tempéré. C.R. Acad. Agri. de France, 6 : 635-642.

JACQUIN F., VONG P.C., 1989. Incorporation of a nitrogen fertilizer in the humidified compounds of a typic hapludalf. *The Science of the Total environment*, 81-82 : 465-469.

JACQUIN F., VONG P.C., 1990. Quantification des mécanismes d'organisation et de minéralisation de l'azote en sols cultivés. *Science du sol*, 28 (4) : 349-362.

JENKINSON D.S., 1977. Studies on the decomposition of plant material in soil. *Soil Science*, 28 : 25-35.

JENKINSON D.S., POWLSON D.S., 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in Soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil. Biol. Biochem.*, 8 : 209-218.

JENNY H., 1941. Factors of soil formation : A system of quantitative Pedology, Mc. Craw Hill Book Company. N.Y., 281 p.

JOCTEUR M., 1984. Nature et évolution de l'azote organique dans les sols et les sédiments marins récents. Thèse Doctorat d'Etat. Univ. Nancy I, 165 p.

JONES M.J., 1972. Ammonium and nitrate nitrogen in the rain water at Sumaru (Nigeria). *Sumaru Res. Bul.*, 159 : 459-461.

JONES M.J., 1975. The significance of crop residues of the maintenance of fertility under continuous cultivation of Sumaru (Nigeria) *J. Agric. Sci. Com.*, 86 : 117-125.

KONONOVA M.H., 1966 a. The importance of organic matter in soil formation and soil fertility *In* : *Soil organic matter, its nature, its rôle* *In* : *Soil formation and fertility*. Pergamon Press. 2nd english ed. : 183-223.

KONONOVA M.H., 1966 b. Changes in soil organic matter under different soil management. *In* : *Soil organic matter, its nature, its rôle* *In* : *Soil formation and fertility*. Pergamon Press. 2nd english ed. : 317-372

LAMOTTE M., BOURLIERE F., 1978. Problèmes d'écologie : structure et fonctionnement des écosystèmes terrestres. Paris, Masson, 345 p.

LAUDELOUT H., LAMBERT R., 1982. Variation saisonnière de la population microbienne du sol. II. Influence sur la minéralisation de l'azote du sol. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 19 (1) : 1-15.

LEFEVRE F., HIROUX G., YVART B., 1981. Effets des apports organiques et minéraux sur le comportement de l'azote dans le sol. Bull. de l'AFES, 1 : 31-53

MAI H., FIEDLER H.J., LEUBE F., 1980. The effect of urea and calcium ammonium nitrate application on the microflora and N-conversion in spruce raw humus. Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde. Infektionskrankheiten und Hygiene. II. Abteilung, 135 : 563-574.

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

MARTIKAINEN P.J., 1985. Nitrification in forest soil of different pH as affected by urea ammonium sulphate and potassium sulphate. Soil Biol. Biochem., 17 (3) : 363-367 p.

MARUMOTO T., SHINDO H., HIGASHI T., 1980. Effects of carbonaceous materials on the accumulation of ready mineralizable organic nitrogen in soil. Soil Sci. Plant Nutr. 26 (6) : 185-190.

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

MEEK B., GRAHAM L., DONOVAN T., 1982. Long term effects of manure on soil nitrogen, phosphorus, potassium, sodium, organic matter and water infiltration rate. Soil. Sci. Soc. Am. J., 46 : 1014-1019.

MOREL R., 1969. Essais des déterminations quantitatives relatives à l'évolution de l'azote dans un sol cultivé en équilibre azoté. Ann. Agron., 20 (2) : 161-181.

MOREL R., 1981. Essais d'estimations globales de l'organisation et de la réorganisation de l'azote minéral du sol. Colloque Humus-Azote, 7-10 juillet 1981 : 285-290.

MOREL R., 1989. Les sols cultivés. Tec. Doc., Paris, 380 p.

NDIAYE J.P., 1978. Enquête fertilité en milieu paysan dans la région du Sine Saloum, Bambey, ISRA Doc., 15 p.

NDIAYE J.P., SAGNA I., 1989. La fertilisation des cultures au Sénégal Bilan-diagnostic et perspectives. Document Ministère du Développement rural du Sénégal, 94 p.

NICOLARDOT B., CHAUSSOD R., CATROUX G., 1984. Décomposition des corps microbiens dans les sols fumigés au chloroforme : Effets du type de sol et des microorganismes; *Soil Biol. Biochem.*, 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. *Soil Biol. Biochem.*, 13 (3) : 263-273.

NICOU R., 1962-1969. Compte rendu d'essais "Travail du sol x Fertilisation" de Bambey, Boulel et Nioro-du-Rip. IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Div. des techniques.

NISHIO T., KANAMORI T., FUJIMOTO T., 1985. Nitrogen transformations in an aerobic soil as determined by NH_4^+ dilution technique. *Soil Biol. Biochem.*, 17 (2) : 149-154.

NYE P.H., GREENLAND D.J., 1960 a. The soil under shifting cultivation; Farhan Royal Bucks. Commonwealth Agricultural Bureau, (Technical communication), 50 : 150 p.

NYE P.H., GREENLAND D.J., 1960 b. The soil under shifting cultivation. Commonwealth Bureau of soil (Technical communication), 51 : 146 p.

PICHOT J. 1974. Etude de l'évolution du sol en présence de fumures organiques ou minérales. Cinq années d'expérience à la station de Boukoko (R.C.A.) *Agro Trop.*, 26 : 756-772.

PICHOT J., BURDIN S., CHAROY J., NABOS J., 1974. L'enfouissement des pailles de mil "*Pennisetum*" dans les sols sableux dunaires : son influence sur les rendements et la nutrition minérale du mil ; son action sur les caractéristiques chimiques du sol et la dynamique de l'azote minéral. *Agro. Trop.*, 29 : 995-1005.

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

PICHOT J., 1978 b. La fumure azotée des cultures vivrières tropicales. *Agron. Trop.*, 30 (2) : 50-75.

PICHOT J., SEDOGO M.P., POULAIN J.L., ARRIVETS J., 1981. Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sur l'influence des fumures minérales et organiques. *Agron. Trop.*, 36 (2) : 12-33.

PIERI C., 1982. Estimation du bilan des pertes moyennes en eau et en éléments minéraux dans une succession culturale mil-arachide. IRAT Montpellier. IAEA Vienne, 26 p.

PIERI C., 1985. Bilans minéraux des systèmes de cultures pluviales en zones arides et semi-arides. Agron. Trop., 40 (1) : 1-20.

PIERI C., 1989. Fertilité des savanes. Bilan de trente ans de recherches et de développement agricole au Sud du Sahara. Ministère de la coopération et CIRAD-IRAT. Paris, Documentation française., 444 p.

POSS R., 1991. Transferts de l'eau et des minéraux dans les terres de Barre du Togo. conséquences agronomiques. Thèse de Doctorat d'université Paris 6, 335 p.

RICHARD L., 1976. Rapport de mission au Mali. Paris IRCT, 16 p.

ROOSE E., 1981. Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Travaux et Documents de l'ORSTOM n° 130. Paris, ORSTOM, 569 p.

SAGNA-CABRAL M.A., 1989. Utilisation et gestion de la matière organique d'origine animale dans un terroir du Centre-Nord du Sénégal. Mémoire d'étude CNEARC, 46 p.

SANCHEZ P.A., 1976. Properties and Management of soils in the tropics. London John Wiley and Sons ed. 618 p.

SARR P.L., 1981. Analyse des effets induits par intensification des cultures sur quelques caractéristiques physico-chimiques d'un sol ferrugineux tropical du Sénégal. Thèse de 3^{ème} cycle Agronomie-Pédologie. Université des Sciences et techniques du Languedoc, Montpellier, 100 p. et annexes.

SEDOGO M.P., 1981. Contribution à la valorisation des résidus cultureux en sols ferrugineux et sur climat tropical semi-aride (matière organique du sol et nutrition azotée des cultures). Thèse de Docteur Ingénieur INPL-ENSAIA, Nancy, 191 p.

SEDOGO M.P., 1993. Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture. Incidence des modes de gestions sur la fertilité. Thèse de Doctorat d'Etat Université Nationale de Côte d'Ivoire, 285 p.

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

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

SPRENT J.I., 1975. Nitrogen fixation by legumes subjected to water and light stresses. *In* : *Symbiotic nitrogen fixation in plants*. P.S. Nutman (ed.) Cambridge U. Press, N.Y. : 405-420.

STEWART B.A., PORTER L.K., JOHNSON D.D., 1963. Immobilisation and mineralization of nitrogen in several organic fraction of soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 27 : 302-304.

TOURTE R., 1951. Préparation du sol et enfouissement de la végétation naturelle comme engrais vert leur influence sur les rendements du mil au Sénégal. *Ann. CRA. Bambey* : 120-125 p.

VACHAUD G., VAUCLIN M., IMBERNON J., PIERI C., DANCETTE C., DIATTA S., 1982. Etude des pertes en eau et en matières minérales sous culture considérant la variabilité spatiale du sol. *In* : *12th International congress of soil Science*. New Dehli, India : 15 p.

VELLEY J., LONGUEVAL J., 1977. Evolution d'un sol ferrallitique de Madagascar sur gneiss sous l'influence d'apports annuels de pailles et d'azote. *Proceeding of a symposium, Braunschweig*, 6 (1) : 69-81.

VILAIN M., 1989. L'état organique du sol. *In* : *Agriculture d'aujourd'hui. La production végétale*. vol. 2. *La maîtrise technique de la production*. Tec. Doc. Lavoisier, 361 p.

VONG P.C., 1987. Contribution à l'étude cinétique des différents compartiments azotés contenus dans les sols cultivés après apport de fertilisants minéraux et organiques. Thèse de Doctorat d'Etat INPL., 217 p.

VONG P.C., KABIBOU I., JACQUIN F., 1990. Etude des corrélations entre biomasse microbienne et différentes fractions d'azote organique présentes dans deux sols Lorrains. *Soil Biol. Biochem.*, 22 (3) : 385-392.

VORONEY R.P., PAUL E.A., 1984. Determination of Kc and Kn in situ for calibration of the chloroform fumigation incubation method. *Soil Biol. Biochem.*, 16 (1) : 9-14.

WARRING S.A., BREMNER J.M., 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature*, 49 (22) : 951-952.

WANEUKEM V., 1991. Test de diagnostic de la fertilité azotée d'un sol tropical. Essai de validation in situ d'un indicateur chimique du sol. D.E.A. de l'I.N.P. de Toulouse option production, 40 p.

WESTERMAN R.L., TUCKER T.C., 1974. Effects of salts and salts plus nitrogen-15 labelled ammonium chloride on mineralization of soil nitrogen, nitrification and immobilization. *Soil Sci.Soc. of America Proc.*, 38 : 602-605.

WETSELAAR R., HUTTON J.T., 1963. Estimation of nitrogen fixation by four legumes in dry area of Northwestern Australia. *Austr. J.exp. agric. Animal husbandry*, 7 : 518-582.

WETSELAAR R., GANRY F., 1982. Nitrogen balance in tropical agrosystem : 1-35. In : *Microbiology of tropical soils and plant productivity*. Dommergues Y.R. et Diem H.G. (eds.), Martinus Nijhoff and W. Junk. The Haque.

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. *Agron. Trop.*, 42 (4) : 258-268.

Annexes

Annexe 1

Evolution de la pluviométrie à Bambey (1971-1992)

Années	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Total annuel
1971		52,2	174,1	160,3	166,2	4,3	557,1
1972		61,9	28,3	128,3	112,0	46,0	376,5
1973		1,5	63,7	199,3	85,8	18,0	352,0
1974		3,0	108,7	306,9	72,7	24,0	515,3
1975		-	138,0	231,0	157,8	17,4	544,2
1976		-	92,3	77,2	142,5	-	312,0
1977		8,0	84,7	161,0	125,0	38,7	417,4
1978		9,3	95,7	233,7	348,7	33,1	748,5
1979		114,3	92,0	123,4	119,3	23,3	472,3
1980		-	7,1	240,0	105,9	33,8	492,7
1981		2,4	140,2	175,5	201,1	7,0	547,8
1982		-	197,3	195,0	84,4	12,9	489,6
1983		122,9	78,8	102,6	106,7	12,3	423,3
1984		71,5	9,9	95,1	152,0	-	328,5
1985		30,6	73,7	170,8	114,7	13,5	403,3
1986		0,2	25,4	57,8	296,0	17,7	397,1
1987		0,4	59,2	167,7	196,9	29,3	393,5
1988	2,20	14,0	21,7	399,7	149,0	1,4	588,0
1989		76,2	161,5	339,5	65,0	54,0	696,2
1990		15,9	54,5	182,8	82,0	4,5	339,7
1991		-	42,0	71,8	213,2	28,0	355,0
1992		-	49,5	125,0	40,0	8,5	222,0

Annexe 2

Evolution de la pluviométrie à Thilmakha (1978-1992)

Années	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Total annuel
1978	30,5	109,5	81,5	181,0	14,0	416,5
1979	41,5	49,8	171,0	81,2	18,0	361,5
1980	-	31,0	118,0	68,0	34,0	251,0
1981	53,0	38,3	163,7	63,0	12,0	330,0
1982	1,5	235,0	105,4	67,2	21,0	430,1
1983	20,0	8,6	131,0	39,7	-	192,3
1984	52,7	37,8	63,5	79,2	22,0	255,2
1985	28,0	50,3	190,5	78,0	9,5	356,3
1986	-	1,6	133,8	89,7	5,0	230,1
1987	1,0	95,5	282,0	196,7	18,5	593,7
1988	9,2	54,5	257,7	116,7	0,5	438,6
1989	61,8	219,3	173,6	62,5	36,0	553,2
1990	4,5	37,1	78,1	111,5	45,5	276,7
1991	-	80,1	115,5	173,5	169,0	538,1
1992	12,5	53,0	107,5	36,5	18,0	227,5

Annexe 3

FICHE ENQUETE

Village de :

Région de :

Exploitation :

Date visite :

I - Renseignements généraux sur le village :

1 - Nombre de foyers :

2 - Superficie des terres :

3 - Nombre de puits :

Profondeur :

II - Renseignements généraux sur l'exploitation

4 - Nombre de personnes adultes : (femmes + hommes)
à spécifier :

5 - Nombre d'enfants

6 - Travailleurs saisonniers essentiels :

7 -pourcentage

8 - Combustible utilisé pour la cuisine :

bois - coque d'arachide - paille - gousses - bouses de
vache -

quantité kg par jour ou par mesure

9 - Proportion de combustible acheté :

10 - Prix par kg :

par tas ou par mesure

11 - Temps passé par jour à ramasser le bois :

12 - Cuisine :

13 - en plein air :

14 - sous abri :

III - Autosuffisance alimentaire

a) Famille :

15 - Etat des réserves de mil

16 - Etat des réserves d'arachide

17 - Etat des réserves de niébé

18 - Achat de riz / proportion du riz dans l'alimentation.

IV - Animaux : Fourrage : 19 - Niébé (fanes ou graines)

20 - Fane d'arachide

21 - Tige de mil

Etc.

Matériel : 22 Semoir

23 - Houe occidentale

24 - Houe Sine

25 - charrue

26 - Charrette

27 - Animaux sur l'exploitation

Animaux	Nombre	Où sont-ils actuellement	En saison des pluies
Cheval Boeuf Vache Mouton Chèvre Ane			

28 - Animaux parqués dans l' exploitation

29 - Quantité de fumier rassemblé (charrettes) :

30 - Epannage sur combien de parcelles ?

31 - A quelle date ?

32 - Il y en a - oui

33 - Nombre

34 - Aller et retour

35 - Temps de séjour

36 - Y-a-t-il des bêtes appartenant aux gens du village ?

37 - % des animaux du village en transhumance :

38 - Sur quelles parcelles peuvent ils pâturer :

39 - Berger est-il communautaire oui
non

RECOLTE

A - Grains

40 - Nombre de charrettes nécessaires pour ramener les récoltes

Parcelle	Cultures	Surfaces cultivées	Nombre de charrettes
1			
2			
3			
4			
5			

Total - Mil

- arachide

- sorgho

B) PAILLE (Mil, arachide, sorgho, maïs etc.)

41 - Nombre de charrettes récoltées par parcelles

Parcelles	Cultures	Surfaces cultivées	nombre de charrettes
1			
2			
3			
4			
5			

Utilisation :

42 - Construction : 43 - % de la récolte 44 - Nombre de charrettes

45 - Paille de mil

46 - Fane d'arachide % vente

% utilisation animaux du carré

47 - Tige de mil utilisés pour alimentation du bétail oui - non

48 - Nombre de charrettes

49 - Paille de niébé dérobé (nombre de charrettes)

- Animaux parqués dans le carré.

JACHERE

A - Annuelle

50 - Animaux des autres propriétaires peuvent-ils venir brouter?
oui
non

51 - Ramassage des herbes

52 - Quantité récoltée sur la jachère à l'hectare =
(Nombre de charrettes)

53 - superficie récoltée

54 - Brûlis : % quand ?

B - Longues

55 - Durée = + de 3 ans
- de 3 ans

56 - Animaux extérieurs au village = + nombreux - nombreux
qu'au village
oui

Matériel agricole pour chaque village

	NDIAMSIL	NDIEMANE
Nombre de houes		
Nombre de charrues		
Nombre de charrettes asines		
Nombre de charrettes équines		
Nombre de charrettes bovines		

Population et surfaces utilisables

	NDIAMSIL	NDIEMANE
Population totale		
Population active		
Nombre d'exploitation		
<u>Surface totale du terroir</u>		
Surface totale cultivable		
Surface totale cultivée (ha)		
Surface totale jachère (ha)		
<u>Surface cultivée (ha)</u>		
arachide		
maïs		
niébé		
sorgho		
surface cultivée par habitant		

Annexe 4

Caractéristiques des villages enquêtés

Caractéristiques	Ndiansil	Ndiémane
Population totale	289	1599
Population active	277	967
Nombre d'exploitations	26	106
Superficie totale du village (ha)	301	889,7
Superficie totale cultivable (ha)	283,90	889,70
Superficie totale cultivée (ha)	262,80	835,40
Surface totale jachère (ha)	21,10	54,20
Nombre d'habitants par exploitation	8,90	6,80
Nombre d'hectares par exploitation	10,90	7,88
Nombre d'hectares par actif	0,90	0,86
Animaux		
Nombre de chevaux	39	143
Nombre de boeufs	12	78
Nombre de vaches	36	170
Nombre de moutons	218	192
Nombre de chèvres	128	514
Nombre d'ânes	23	89
Matériel agricole		
Semoir super éco	42	125
Houe occidentale	37	116
Houe Sine	13	69
Arara	11	6
Charrue	3	0
Charrette asine	1	54
Charrette équine	15	8
Charrette bovine	0	0

Annexe 5
Quantité de pailles produites dans les deux villages
(t de M.S par exploitation)

Villages	Exploitations	Pailles		Jachère	
		Mil	Arachide	Longue	Courte
Ndiamsil Sessène	1	4,06	3,06	0,55	0,95
	2	1,96	3,19	0,55	0,95
	3	4,20	2,68	0,68	1,35
	4	1,26	2,42	0,27	0,68
	5	0,98	1,79	0,41	0,68
Total		12,46	13,14	2,46	4,61

Village	Exploitations	Pailles			Jachère	
		Mil	Arachide	Niébé	Longue	Courte
Ndiémane	1	0,29	1,55	0,21	0,51	-
	2		1,20		0,51	-
	3	0,89	0,93	0,43	1,46	-
	4	1,80	0,46	0,11	1,20	0,10
	5	0,11	2,80	0,43	0,86	0,48
Total		3,09	6,94	1,18	4,54	0,58

Annexe 6
Production et utilisation du fumier au sein des exploitations
enquêtées

Villages	Exploitations	Quantité de fumier ramassé	Quantité de fumier apporté sur les parcelles	Surfaces fumées	Types de cultures
		kg M.S	kg M.S	ha	
Ndiamsil	1	5512	2205	3,90	mil
	2	6557	6420	5,90	mil
	3	5880	9408*	5,80	mil
	4	2765	3840*	3,40	mil
	5	6510	6200	2,50	mil
	Total	27224	28073	21,50	Ara/mil
Ndièmane	1	750	750	1,30	mil
	2	1000	1000	1,00	arachide
	3	2000	1500	3,10	mil
	4	1800	3000*	2,00	mil
	5	1000	1950*	6,00	mil
	Total	6550	8200	13,40	mil

* La différence provient de la stabulation des animaux

Annexe 7

Rendements (kg/ha) gousses et pailles de l'arachide en culture continue

Années	Labour			Témoin			Effet labour (%)
	Gousses	Pailles	Total	Gousse	Pailles	Total	
1971	2281	2500	4781	1672	1975	3647	31
1972	627	720	1347	509	765	1274	7
1973	1476	2345	3821	1321	2033	3354	14
1974	1768	1682	3450	1488	1397	2885	19
1975	1462	1382	2844	1140	1200	2340	21
1976	862	1280	2142	834	1252	2086	2
1977	1851	1935	3786	1534	1540	3074	23
1978	1333	1751	3084	1132	1730	2862	7
1979	669	2369	3038	550	2025	2575	18
1980	254	1494	1748	230	1249	1479	18
1981	1405	2394	3799	1221	2033	3254	16
1982	635	1035	1670	568	850	1418	17
1983	948	1683	2431	904	1518	2422	3
1984	850	931	1781	815	727	1542	15
1985	1445	2005	3450	1317	1692	3009	38
1986	714	1500	2214	593	1000	1593	18
1987	1840	2950	4790	1650	2400	4050	38
1988	249	850	1099	193	828	1021	7
1989	1024	2390	3414	800	1798	2598	31
1990	785	1371	2156	771	1200	1971	9
1991	851	2207	3058	691	1745	2436	25
Total			59903			48490	
Moyenne			2852			2309	23

Annexe 8 A

Rendements en grains et paille (kg/ha) du mil en culture en rotation

Années	Labour			Témoin			Effet labour (%)
	Grains	Paille	Total	Grains	paille	Total	
1971	1546	4300	5846	1463	3900	5363	9
1973	1830	3400	5230	1576	2900	4476	17
1975	1961	6700	8661	1829	5300	7129	21
1977	1857	4383	6240	1677	3650	5327	17
1979	1451	6692	8143	1460	5808	7268	12
1981	1707	3174	4881	1691	2489	4180	17
1983	906	5972	6878	968	5100	6068	13
1985	648	3315	3963	632	2773	3405	16
1987	1747	3865	5612	1428	3229	4657	20
1989	790	2989	3779	301	2674	2975	27
1991	1187	3000	4187	925	2650	3575	17
Total			63420			54423	
Moyenne			5765			4947	16,5

Annexe 8 B.

Rendements en gousses et pailles (kg/ha) de l'arachide en culture en rotation

Années	Labour			Témoin			Effet labour (%)
	Gousses	Paille	Total	Gousses	paille	Total	
1972	1189	1734	2923	808	1250	2013	45
1974	2068	1813	3881	1908	1636	3544	9
1976	1046	1546	2592	898	1077	1975	31
1978	1720	2000	3720	1566	1841	3407	9
1980	218	975	1193	204	916	1120	6
1982	587	1050	1637	527	700	1227	33
1984	1031	1194	2225	727	980	1707	30
1986	500	1200	1700	497	800	1247	36
1988	671	1835	2506	525	1437	1962	27
1990	1238	1411	2649	1168	1304	2472	7
Total			25026			20674	
Moyenne			2503			2067	20

Annexe 9 Rendement des cultures (kg/ha) en rotation à Thilmakha

9 A-Mil

Années	Témoin			Apport de fumier			Effet fumier (%)
	Grains	Pailles	Total	Grains	Pailles	Total	
1978	1105	2462	3567	1327	2892	4219	18
1980	1000	2150	3150	1200	2850	4050	28
1982	618	2619	3237	1044	3633	4677	44
1984	892	3246	4138	953	4073	5026	21
1986	564	3132	3696	1263	5435	6698	81
1988	670	1847	2517	1000	3400	4400	74
Total			20305			29070	
Moyenne			3384			4845	43

9 B- Arachide

Années	Témoin			Apport de fumier			Effet fumier (%)
	Gousses	Pailles	Total	Gousses	Pailles	Total	
1979	2226	2638	4864	2243	2716	4959	2
1981	1873	2938	4811	1987	3188	5085	6
1983	849	1862	2761	1005	2191	3196	15
1985	595	899	1494	1269	1564	2833	89
1987	1771	1809	3580	2434	3087	5521	54
Total			17510			21594	
Total			3502			4318	23

Annexe 10

Evolution des caractéristiques physiques et chimiques des sols de Bambey après 30 ans de culture et de non culture

	Jachère		Culture continue				Rotation (arachide-mil)			
			A		B		A		B	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
pH eau	6,45	6,20	5,50	5,52	5,60	5,61	5,60	5,60	5,67	5,55
Argile %	3,50	3,90	2,89	2,92	3,00	3,08	2,70	2,72	2,83	2,84
Limon %	1,60	1,65	1,20	1,18	1,30	1,31	1,30	1,20	2,20	2,25
Sables %	94,0	94,10	95,10	95,80	95,60	95,20	96,00	96,00	94,80	94,85
C ‰	3,30	3,26	1,33	1,33	1,80	1,66	1,48	1,50	1,69	1,69
N ‰	0,30	0,26	0,14	0,14	0,13	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13
C/N	11,00	12,50	9,5	9,50	13,8	13,8	11,38	11,53	13,00	13,00
P total (ppm)	110,00	112,00	98,00	100,00	115,00	112,00	115,20	116,00	113,00	118,00
P ass.(ppm)	62,10	50,00	58,00	57,50	60,30	60,50	60,23	60,30	65,50	65,80
C. absorbant meq/100g										
Al. ech.	0	0	0,08	0,09	0,15	0,16	0,22	0,28	0,23	0,30
Ca	2,44	2,30	0,55	0,58	0,67	0,67	0,51	0,52	0,67	0,68
Mg	0,50	0,55	0,19	0,18	0,21	0,23	0,22	0,23	0,24	0,24
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
K	0,12	0,07	0,08	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,08
S	3,07	2,93	0,91	0,95	1,12	1,15	1,03	1,11	0,121	1,31
C.E.C	2,76	2,65	1,09	1,10	1,15	1,16	1,11	1,13	1,16	1,15
S/T %	Saturé	Saturé	83	86	87	97	92	93	Saturé	Saturé

A (labour tous les deux ans) ; B (pas de labour)

Annexe 11

Evolution des caractéristiques physiques et chimiques des sols de Thilmakha après 11 et 14 années de culture

	1978		11 ans (1988)				14 ans (1991)			
	Sol de départ		Témoin		Avec fumier		Témoin		Avec fumier	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
pH eau	5,70	5,74	5,55	5,45	5,80	5,75	5,45	5,40	5,70	5,71
Argile %	3,90	3,95	3,75	3,70	3,60	3,50	3,60	3,63	3,55	3,60
Limon %	2,10	2,25	2,30	2,30	2,40	3,10	2,40	2,45	3,10	3,15
Sables %	94,00	93,70	93,80	94,00	94,00	93,00	94,00	94,00	93,35	93,00
C %	1,82	1,79	1,41	1,40	1,99	2,00	1,37	1,36	1,27	1,28
N %	0,13	0,12	0,14	0,14	0,18	0,17	0,13	0,13	0,12	0,10
C/N	14,00	14,90	10,07	10,00	11,05	11,7	10,54	10,46	10,58	12,8
P total ppm	79,00	79,00	80,00	80,50	84,30	85,00	83,00	84,00	84,50	84,00
P ass. ppm	8,00	15,00	22,00	21,00	35,00	33,00	24,00	24,20	33,00	35,00
C. absorbant meq/100g										
Al.ech.	0,06	0,07	0,15	0,16	0,07	0,07	0,15	0,16	0,07	0,07
Ca	0,75	0,83	0,57	0,52	0,70	0,75	0,56	0,53	0,70	0,75
Mg	0,25	0,29	0,12	0,20	0,28	0,28	0,12	0,18	0,27	0,27
Na	0,02	0,02	0,06	0,008	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
K	0,05	0,06	0,06	0,20	0,12	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09
S	1,13	1,27	0,96	1,08	1,18	1,20	0,92	0,96	1,14	1,19
C.E.C	1,60	1,67	0,79	1,04	1,30	1,31	0,96	0,98	1,28	1,30
S/T %	71	76	Saturé	saturé	90	91	95	97	89	91

Annexes 12 Evaluation des fractions organiques azotées à Bambey

Horizon cm	Nht ppm	Nhd ppm	Nhnd ppm	Nnh ppm	N total ppm	Nhnd/Nhd (k)
Jachère						
0-5	285	60	200	40	300	3,33
5-15	267	55	190	42	282	3,45
15-30	257	50	185	40	275	3,70
30-45	256	55	173	42	270	3,15
45-60	240	55	170	43	265	3,09
60-90	200	53	140	43	226	2,64
90-120	205	56	130	44	230	2,32
Culture continue avec labour						
0-5	105	28	78	25	132	2,82
5-15	95	31	64	26	124	2,09
15-30	82	34	48	28	113	1,43
30-45	78	34	44	27	111	1,28
45-60	69	34	35	27	104	1,01
60-90	68	35	34	27	96	0,97
90-120	68	35	33	28	94	0,94
Culture continue sans labour						
0-5	121	31	90	30	151	2,89
5-15	116	31	85	31	147	2,74
15-30	114	32	83	32	147	2,62
30-45	97	32	65	31	129	2,03
45-60	78	34	45	35	114	1,33
60-90	75	34	41	36	110	1,18
90-120	69	35	35	36	103	1,00

Horizon cm	Nht ppm	Nhd ppm	Nhnd ppm	Nnh ppm	Ntot ppm	Nhnd/Nhd (k)
Rotation avec labour						
0-5	134	34	100	22	156	2,99
5-15	130	35	95	24	155	2,72
15-30	129	34	95	24	153	2,77
30-45	103	35	68	25	128	1,95
45-60	87	37	50	26	114	1,36
60-90	83	37	46	27	111	1,23
90-120	76	38	38	27	102	1,01
Rotation sans labour						
0-5	90	34	56	30	126	1,59
5-15	90	35	55	30	123	1,41
15-30	84	35	49	31	117	1,16
30-45	79	37	43	32	112	1,09
45-60	77	37	40	33	110	1,02
60-90	74	37	37	33	107	0,97
90-120	73	37	36	34	102	0,97

**Annexes 13 Evaluation des fractions organiques azotées à
Thilmakha**

Horizon cm	Nht ppm	Nhd ppm	Nhnd ppm	Nnh ppm	N total ppm	Nhnd/Nhd (k)
Jachère						
0-5	210	50	160	30	245	3,20
5-15	203	48	155	30	233	3,23
15-30	198	48	150	32	230	3,13
30-45	192	47	145	36	228	3,09
45-60	165	40	125	35	200	3,13
60-90	153	43	110	34	187	2,56
90-120	146	46	100	34	180	2,17
Sans fumier						
0-5	93	40	53	22	113	1,32
5-15	86	41	45	24	112	1,08
15-30	85	42	44	24	109	1,05
30-45	84	42	43	24	108	1,02
45-60	84	42	42	24	108	1,01
60-90	83	42	41	25	108	0,99
90-120	80	40	40	25	105	1,00
Avec fumier						
0-5	113	36	78	21	137	2,18
5-15	110	45	65	22	131	1,46
15-30	104	47	57	22	127	1,21
30-45	102	48	55	23	125	1,14
45-60	102	49	53	23	125	1,08
60-90	102	50	52	23	125	1,04
90-120	101	51	50	23	123	0,98

Annexe 14 :**Evalutation des ressources azotées à Bambey en 1990**

- 1- L'azote est apporté sous forme de sulfate d'ammonium,
- 2- la dose apportée sur l'arachide est de 10 kg N/ha à un excès isotopique de départ de 9,53 %,
- 3- celle apporté sur mil est de 50 kg N/ha à un excès isotopique de départ de 1,924 %

Traitements Répétitions	Rendements kg/ha	N %	N total kg/ha	E plante %	Ndff %	Ndff kg/ha	C.R.U %	
Arachide Culture continue avec labour								
Grains	1	555,50	4,89	27,16	0,27	2,83	0,77	7,70
	2	438,20	4,95	21,69	0,36	3,78	0,82	8,19
	3	481,40	5,14	24,74	0,42	4,41	1,09	10,90
		475,30	4,90	23,29	0,44	4,62	1,08	10,75
	5	444,40	5,12	22,75	0,39	4,09	0,93	9,31
	6	493,40	4,96	24,47	0,26	2,73	0,67	6,68
	Moyenne	481,37		24,02		3,71	0,89	8,92
Pailles	1	1419,80	2,16	30,67	0,33	3,46	1,06	10,62
	2	1149,90	2,66	30,59	0,35	3,67	1,12	11,23
	3	1111,10	2,55	28,33	0,42	4,41	1,25	12,49
		1419,80	2,43	34,50	0,45	4,72	1,63	16,29
	5	1179,80	2,4	28,32	0,42	4,41	1,25	12,48
	6	1284,00	2,44	31,33	0,36	3,78	1,18	11,83
	Moyenne	1260,73		30,62		4,08	1,25	12,49
Coques	1	351,80	1,39	4,89	0,35	3,67	0,18	1,80
	2	302,50	1,74	5,26	0,38	3,99	0,21	2,10
	3	313,60	1,59	4,99	0,46	4,83	0,24	2,41
		302,50	1,27	3,84	0,49	5,14	0,20	1,98
	5	271,60	1,58	4,29	0,45	4,72	0,20	2,03
	6	339,51	1,68	5,70	0,32	3,36	0,19	1,92
	Moyenne	313,59		4,83		4,22	0,20	2,04

Traitements	Rendements	N	N total	E plante	NdfF	NdfF	C.R.U	
Répétitions	kg/ha	%	kg/ha	%	%	kg/ha	%	
Arachide								
Culture continue sans labour								
Grains	1	487,60	4,94	24,09	0,35	3,67	0,88	8,85
	2	469,10	4,20	19,70	0,39	4,09	0,81	8,06
	3	456,80	4,66	21,29	0,32	3,36	0,71	7,15
		438,30	5,09	22,31	0,41	4,30	0,96	9,60
	5	283,95	4,41	12,52	0,40	4,20	0,53	5,26
	6	358,02	4,89	17,51	0,39	4,09	0,72	7,16
Moyenne	415,63		19,57		3,92	0,77	7,68	
Pailles	1	1234,00	2,34	28,88	0,37	3,88	1,12	11,21
	2	938,00	2,69	25,23	0,39	4,09	1,03	10,33
	3	1296,00	2,49	32,27	0,33	3,46	1,12	11,17
		1234,50	2,46	30,37	0,45	4,72	1,43	14,34
	5	1388,90	2,35	32,64	0,42	4,41	1,44	14,38
	6	1049,40	2,36	24,77	0,38	3,99	0,99	9,88
Moyenne	1190,13		29,03		4,09	1,19	11,89	
Coques	1	339,50	1,49	5,06	0,41	4,30	0,22	2,18
	2	327,10	1,89	6,18	0,41	4,30	0,27	2,66
	3	333,30	1,40	4,67	0,37	3,88	0,18	1,81
		308,70	1,85	5,71	0,46	4,83	0,28	2,76
	5	271,60	1,95	5,30	0,43	4,51	0,24	2,39
	6	277,80	1,84	5,11	0,41	4,30	0,22	2,20
Moyenne	309,67		5,34		4,37	0,23	2,33	

Traitements Répétitions	Rendements kg/ha	N %	N total kg/ha	E plante %	Ndff %	Ndff kg/ha	C.R.U %
Arachide		Rotation avec labour					
1	895,00	4,62	41,35	0,28	2,94	1,21	12,15
2	759,30	4,6	34,93	0,28	2,94	1,03	10,26
3	771,60	4,26	32,87	0,36	3,78	1,24	12,42
Grains	851,80	4,72	40,20	0,3	3,15	1,27	12,66
5	635,80	5,24	33,32	0,32	3,36	1,12	11,19
6	827,60	4,86	40,22	0,28	2,94	1,18	11,82
Moyenne	790,18		37,15		3,16	1,17	11,75
1	1790,00	2,34	41,89	0,29	3,04	1,27	12,75
2	1617,30	2,04	32,99	0,36	3,78	1,25	12,46
3	1604,90	2,46	39,48	0,36	3,78	1,49	14,91
Pailles	1617,30	2,12	34,29	0,31	3,25	1,12	11,15
5	1358,00	2,23	30,28	0,35	3,67	1,11	11,12
6	1697,00	2,47	41,92	0,29	3,04	1,28	12,76
Moyenne	1614,08		36,81		3,40	1,25	12,53
1	382,70	1,2	4,59	0,32	3,36	0,15	1,54
2	401,20	1,3	5,22	0,39	4,09	0,21	2,13
3	345,70	1,17	4,04	0,37	3,88	0,16	1,57
Coques	481,50	1,06	5,10	0,33	3,46	0,18	1,77
5	425,90	1,45	6,18	0,35	3,67	0,23	2,27
6	413,60	1,78	7,36	0,32	3,36	0,25	2,47
Moyenne	408,43		5,42		3,62	0,20	1,96

Traitements Répétitions	Rendements kg/ha	N %	N total kg/ha	E plante %	Ndff %	Ndff kg/ha	C.R.U %
Arachide		Rotation		sans labour			
1	771,60	4,82	37,19	0,33	3,46	1,29	12,88
2	814,80	4,70	38,30	0,29	3,04	1,17	11,65
3	771,60	5,18	39,97	0,25	2,62	1,05	10,49
Grains	790,10	4,73	37,37	0,25	2,62	0,98	9,80
5	555,50	4,81	26,72	0,31	3,25	0,87	8,69
6	790,00	5,05	39,90	0,27	2,83	1,13	11,30
Moyenne	748,93		36,57		2,95	1,08	10,80
1	1567,90	2,00	31,36	0,47	4,92	1,54	15,43
2	1538,00	2,16	33,22	0,34	3,54	1,17	11,75
3	1503,00	2,16	32,46	0,31	3,29	1,07	10,70
Pailles	1503,00	2,00	30,06	0,31	3,21	0,97	9,65
5	1296,30	2,58	33,44	0,36	3,78	1,26	12,63
6	1666,60	2,45	40,83	0,28	2,90	1,18	11,83
Moyenne	1512,47		33,56		3,57	1,20	12,00
1	419,70	1,32	5,54	0,40	4,20	0,23	2,33
2	419,70	1,39	5,83	0,35	3,64	0,21	2,12
3	314,80	1,19	3,75	0,33	3,45	0,13	1,29
Coques	419,70	1,12	4,70	0,31	3,29	0,15	1,55
5	381,90	1,39	5,31	0,35	3,68	0,20	1,96
6	333,30	1,07	3,57	0,33	3,44	0,12	1,23
Moyenne	381,52		4,78		3,65	0,17	1,75

Traitements Répétitions	Rendements kg/ha	N %	N total kg/ha	E plante %	Ndff %	Ndff kg/ha	C.R.U %	
Mil Culture continue sans labour								
Grains	1	500,00	1,00	5,00	0,72	37,42	1,87	3,74
	2	337,00	1,07	3,61	0,86	44,70	1,61	3,22
	3	584,30	0,87	5,08	0,94	48,86	2,48	4,97
		480,00	1,11	5,33	0,64	33,26	1,77	3,54
	5	493,80	0,91	4,49	0,95	49,38	2,22	4,44
	6	584,30	1,00	5,84	0,87	45,22	2,64	5,28
Moyenne	496,57		4,89		42,92	2,10	4,20	
Tiges + feuilles	1	1646,00	0,45	7,41	0,84	43,66	3,23	6,47
	2	1251,00	0,43	5,38	0,95	49,38	2,66	5,31
	3	1728,00	0,40	6,91	0,92	47,82	3,31	6,61
		1646,00	0,37	6,09	0,74	38,46	2,34	4,68
		1851,80	0,40	7,41	0,98	50,94	3,77	7,55
	6	1399,00	0,47	6,58	0,96	49,90	3,28	6,56
Moyenne	1586,97		6,63		46,75	3,10	6,20	
Rachis + glumes	1	892,30	0,73	6,51	0,85	44,18	2,88	5,76
	2	971,20	0,88	8,55	0,81	42,10	3,60	7,20
	3	750,00	0,80	6,00	0,88	45,74	2,74	5,49
		751,00	0,80	6,01	0,71	36,90	2,22	4,43
		823,00	0,79	6,50	0,92	47,82	3,11	6,22
	6	817,30	0,68	5,56	1,00	51,98	2,89	5,78
Moyenne	834,13		6,52		44,56	2,91	5,81	

Traitements	Rendements	N	N total	E plante	Ndff	Ndff	C.R.U	
Répétitions	kg/ha	%	kg/ha	%	%	kg/ha	%	
Mil Culture continue avec labour								
Grains	1	487,00	1,25	6,09	0,53	27,55	1,68	3,35
	2	502,00	1,11	5,57	0,80	41,58	2,32	4,63
	3	477,30	1,12	5,35	0,68	35,34	1,89	3,78
		493,30	1,07	5,28	0,84	43,66	2,30	4,61
	5	480,00	0,99	4,75	0,62	32,22	1,53	3,06
	6	477,30	0,97	4,63	0,85	44,18	2,05	4,09
	Moyenne	486,15		5,28		37,15	1,96	3,92
Tiges + feuilles	1	1893,00	0,49	9,28	0,61	31,70	2,94	5,88
	2	1522,60	0,41	6,24	0,94	48,86	3,05	6,10
	3	1481,50	0,48	7,11	0,81	42,10	2,99	5,99
		1893,00	0,49	9,28	0,89	46,26	4,29	8,58
		1572,00	0,45	7,07	0,71	36,90	2,61	5,22
	6	1711,90	0,34	5,82	0,91	47,30	2,75	5,51
	Moyenne	1679,00		7,47		41,60	3,11	6,21
Rachis + glumes	1	638,30	0,68	4,34	0,62	32,22	1,40	2,80
	2	672,90	0,77	5,18	0,86	44,70	2,32	4,63
		617,30	0,64	3,95	0,75	38,98	1,54	3,08
		666,70	0,80	5,33	0,86	44,70	2,38	4,77
	5	526,60	0,61	3,21	0,74	38,46	1,24	2,47
	6	584,40	0,69	4,03	0,87	45,22	1,82	3,65
	Moyenne	617,70		4,34		41,06	1,78	3,57

Traitements	Rendements	N	N total	E plante	NdfF	NdfF	C.R.U	
Répétitions	kg/ha	%	kg/ha	%	%	kg/ha	%	
Mil		Rotation		sans labour				
	1	205,7	1,31	2,69	0,76	39,50	1,06	2,13
	2	296,3	1,45	4,30	0,63	32,74	1,41	2,81
	3	205,8	1,36	2,80	0,62	32,22	0,90	1,80
Grains		261,7	1,19	3,11	0,64	33,26	1,04	2,07
	5	246,9	1,54	3,80	0,7	36,38	1,38	2,77
	6	353,9	1,24	4,39	0,7	36,38	1,60	3,19
	Moyenne	261,72		3,52		35,03	1,23	2,46
	1	2090,5	0,51	10,66	0,95	49,38	5,26	10,53
	2	1810,7	0,59	10,68	0,79	41,06	4,39	8,77
	3	1700,2	0,68	11,56	0,79	41,06	4,75	9,49
Tiges +		1756,4	0,51	8,96	0,78	40,54	3,63	7,26
feuilles		1728,4	0,59	10,20	0,86	44,70	4,56	9,12
	6	1893,2	0,4	7,57	0,85	44,18	3,35	6,69
	Moyenne	1829,90		9,94		43,49	4,32	8,64
	1	592,5	0,92	5,45	0,78	40,54	2,21	4,42
	2	609	0,89	5,42	0,73	37,94	2,06	4,11
	3	584,3	0,98	5,73	0,73	37,94	2,17	4,35
Rachis +		691,3	0,99	6,84	0,63	32,74	2,24	4,48
Glumes		551,4	0,97	5,35	0,77	40,02	2,14	4,28
	6	510,3	0,82	4,18	0,77	40,02	1,67	3,35
	Moyenne	589,80		5,50		37,89	2,08	4,17

Traitements	Rendements	N	N total	E plante	NdfF	NdfF	C.R.U	
Répétitions	kg/ha	%	kg/ha	%	%	kg/ha	%	
Mil		Rotation		avec labour				
Grains	1	279,80	1,47	4,11	0,78	40,54	1,67	3,33
	2	329,20	1,49	4,91	0,66	34,30	1,68	3,37
	3	452,60	1,31	5,93	0,58	30,15	1,79	3,57
		381,70	1,16	4,43	0,76	39,50	1,75	3,50
	5	288,10	1,32	3,80	0,68	35,34	1,34	2,69
	6	559,10	1,39	7,77	0,5	25,99	2,02	4,04
	Moyenne	381,75		5,16		33,12	1,71	3,42
Tiges et Feuilles	1	2386,80	0,48	11,46	0,87	45,22	5,18	10,36
	2	2156,30	0,63	13,58	0,79	41,06	5,58	11,16
	3	2139,90	0,56	11,98	0,63	32,74	3,92	7,85
		2153,30	0,61	13,14	0,79	41,06	5,39	10,79
		1810,70	0,59	10,68	0,85	44,18	4,72	9,44
	6	2263,30	0,61	13,81	0,55	28,59	3,95	7,89
	Moyenne	2151,72		12,44		38,50	4,79	9,58
Rachis + Glumes	1	625,50	0,95	5,94	0,74	38,46	2,29	4,57
	2	617,30	0,95	5,86	0,736	38,25	2,24	4,49
	3	537,00	0,99	5,32	0,6	31,19	1,66	3,32
		386,80	0,97	3,75	0,76	39,50	1,48	2,96
		518,50	0,87	4,51	0,74	38,46	1,73	3,47
	6	537,00	0,95	5,10	0,52	27,03	1,38	2,76
	Moyenne	537,02		5,08		35,37	1,80	3,59

Annexe 15 :**Evaluation des ressources azotées à Bambey en 1991**

- 1- L'azote est apporté sous forme de sulfate d'ammonium,
- 2- la dose apportée sur l'arachide est de 10 kg N/ha à un excès isotopique de départ de 9,55 %,
- 3- celle apporté sur mil est de 100 kg N/ha à un excès isotopique de départ de 0,95 %

Traitements	Rendement	N	Excès plante	N total	Ndff	Ndff	CRU	
Répétitions	kg/ha	%	%	kg/ha	%	kg/ha	%	
Arachide								
				Culture	continue	avec	labour	
Grains	1	403,00	4,75	0,28	19,14	2,90	0,56	5,55
	2	321,00	5,85	0,37	18,78	3,82	0,72	7,18
		450,00	4,05	0,37	18,23	3,87	0,71	7,06
	4	426,00	4,50	0,33	19,17	3,40	0,65	6,52
	5	463,00	4,25	0,44	19,68	4,64	0,91	9,13
	6	358,00	4,90	0,30	17,54	3,14	0,55	5,51
	Moyenne	403,50	4,72		18,76	3,64	0,68	6,83
Pailles	1	2413,00	2,13	0,23	51,40	2,41	1,24	12,38
	2	2723,00	2,04	0,28	55,55	2,93	1,63	16,29
		2568,00	2,40	0,30	61,63	3,14	1,94	19,36
	4	2957,00	2,10	0,21	62,10	2,20	1,37	13,65
	5	2994,00	2,23	0,30	66,77	3,14	2,10	20,97
	6	2685,00	2,47	0,22	66,32	2,30	1,53	15,28
	Moyenne	2723,33	2,23		60,63	2,69	1,63	16,32
Coques	1	321,00	1,20	0,25	3,85	2,62	0,10	1,01
	2	297,00	1,30	0,22	3,86	2,30	0,09	0,89
		290,00	1,17	0,27	3,39	2,83	0,10	0,96
	4	321,00	1,30	0,22	4,17	2,30	0,10	0,96
	5	327,00	1,50	0,25	4,91	2,62	0,13	1,28
	6	327,00	1,30	0,25	4,25	2,62	0,11	1,11
	Moyenne	313,83	1,30		4,07	2,54	0,10	1,04

Traitements Répétitions	Rendement kg/ha	N %	Excès plante %	N total kg/ha	Ndff %	Ndff kg/ha	CRU %
Arachide		Culture continue		sans labour			
1	300,00	4,94	0,25	14,82	2,62	0,39	3,88
2	358,00	4,75	0,24	17,01	2,51	0,43	4,27
3	475,00	4,80	0,24	22,80	2,51	0,57	5,73
Grains	302,00	4,79	0,22	14,47	2,30	0,33	3,33
5	311,00	4,30	0,20	13,37	2,09	0,28	2,80
6	241,00	5,09	0,22	12,27	2,30	0,28	2,83
Moyenne	331,17	4,78		15,79	2,41	0,38	3,81
1	1411,00	2,00	0,30	28,22	3,14	0,89	8,86
2	1345,00	2,52	0,27	33,89	2,83	0,96	9,58
3	1771,00	2,00	0,28	35,42	2,93	1,04	10,38
Pailles	1173,00	2,30	0,25	26,98	2,62	0,71	7,06
5	1438,00	2,15	0,25	30,92	2,62	0,81	8,09
6	1339,00	2,20	0,22	29,46	2,30	0,68	6,79
Moyenne	1412,83	2,20		30,81	2,75	0,85	8,46
1	376,00	1,32	0,25	4,96	2,62	0,13	1,30
2	247,00	1,39	0,26	3,43	2,72	0,09	0,93
3	290,00	1,19	0,28	3,45	2,93	0,10	1,01
Coques	352,00	1,12	0,30	3,94	3,14	0,12	1,24
5	321,00	1,39	0,27	4,46	2,83	0,13	1,26
6	259,00	1,07	0,30	2,77	3,14	0,09	0,87
Moyenne	307,50	1,25		3,84	2,87	0,11	1,10

Traitements Répétitions	Rendement kg/ha	N %	Excès plante %	N total kg/ha	Ndff %	Ndff kg/ha	CRU %
Arachide							
				Rotation avec labour			
1	399,00	4,50	0,26	17,96	2,67	0,48	4,79
2	327,00	4,55	0,30	14,88	3,09	0,46	4,60
3	469,00	4,35	0,26	20,40	2,67	0,54	5,45
Grains	395,00	4,70	0,28	18,57	2,88	0,53	5,35
5	364,00	4,80	0,28	17,47	2,93	0,51	5,12
6	444,00	4,20	0,30	18,65	3,14	0,59	5,86
Moyenne	399,67	4,52		17,99	2,89	0,52	5,19
1	1700,00	2,60	0,25	44,20	2,62	1,16	11,57
2	1944,00	2,43	0,26	47,24	2,67	1,26	12,61
3	1808,00	2,45	0,32	44,30	3,35	1,48	14,84
Pailles	1815,00	2,47	0,25	44,83	2,62	1,17	11,74
5	1821,00	2,48	0,22	45,16	2,30	1,04	10,40
6	1955,00	2,49	0,22	48,68	2,30	1,12	11,21
Moyenne	1840,50	2,49		45,73	2,64	1,21	12,06
1	233,00	1,39	0,25	3,24	2,62	0,08	0,85
2	191,00	1,65	0,27	3,15	2,83	0,09	0,89
3	228,00	1,30	0,22	2,96	2,32	0,07	0,69
Cosses	271,00	1,30	0,21	3,52	2,23	0,08	0,79
5	241,00	1,58	0,22	3,81	2,30	0,09	0,88
6	234,00	1,61	0,22	3,77	2,30	0,09	0,87
Moyenne	233,00	1,47		3,41	2,42	0,08	0,83

Traitements Répétitions	Rendement kg/ha	N %	Excès plante %	N total kg/ha	Ndff %	Ndff kg/ha	CRU %	
Arachide								
				Rotation sans labour				
Grains	1	543,00	4,20	0,22	22,81	2,31	0,53	5,28
	2	438,00	4,50	0,22	19,71	2,25	0,44	4,44
	3	389,00	4,75	0,23	18,48	2,41	0,45	4,45
		413,00	4,25	0,25	17,55	2,62	0,46	4,59
	5	407,00	4,30	0,22	17,50	2,30	0,40	4,03
	6	438,00	4,50	0,20	19,71	2,09	0,41	4,13
	Moyenne	438,00	4,42		19,29	2,33	0,45	4,49
Pailles	1	1784,00	2,30	0,22	41,03	2,30	0,95	9,45
	2	1796,00	2,65	0,25	47,59	2,62	1,25	12,46
	3	1438,00	2,30	0,21	33,07	2,24	0,74	7,41
		1339,00	2,80	0,21	37,49	2,21	0,83	8,28
	5	1203,00	2,70	0,25	32,48	2,63	0,85	8,54
	6	1512,00	2,60	0,25	39,31	2,63	1,03	10,33
	Moyenne	1512,00	2,56		38,50	2,44	0,94	9,41
Coques	1	265,00	1,40	0,25	3,71	2,62	0,10	0,97
	2	245,00	1,42	0,27	3,48	2,77	0,10	0,97
	3	197,00	1,35	0,23	2,66	2,37	0,06	0,63
		272,00	1,46	0,24	3,97	2,54	0,10	1,01
	5	247,00	1,57	0,24	3,88	2,46	0,10	0,95
	6	245,00	1,60	0,25	3,92	2,62	0,10	1,03
	Moyenne	245,17	1,47		3,60	2,57	0,09	0,93

Traitements	Rendement	N	Excès plante	N total	Ndff	Ndff	CRU	
Répétitions	kg/ha	%	%	kg/ha	%	kg/ha	%	
Mil			Culture	continue	sans	labour		
	1	1786,00	1,30	0,33	23,22	34,74	8,07	8,07
	2	1621,00	1,25	0,32	20,26	33,68	6,83	6,83
	3	1193,00	1,10	0,30	13,12	31,05	4,08	4,08
Grains		1590,00	1,15	0,35	18,29	36,84	6,74	6,74
	5	1600,00	1,20	0,33	19,20	34,74	6,67	6,67
	6	1200,00	1,25	0,35	15,00	36,84	5,53	5,53
Moyenne		1498,33	1,21		18,18	34,74	6,32	6,32
	1	4164,00	0,30	0,35	12,49	36,84	4,60	4,60
	2	4082,00	0,32	0,33	13,06	34,74	4,54	4,54
	3	4535,00	0,33	0,28	14,97	29,68	4,44	4,44
Pailles		4205,00	0,31	0,25	13,04	26,32	3,43	3,43
	5	4000,00	0,30	0,28	12,00	29,58	3,55	3,55
	6	4100,00	0,30	0,30	12,30	31,58	3,88	3,88
Moyenne		4181,00	0,31		12,98	31,40	4,07	4,07
	1	1374,00	0,70	0,30	9,62	31,58	3,04	3,04
	2	1297,00	0,65	0,33	8,43	34,74	2,93	2,93
	3	1435,00	0,66	0,34	9,47	35,79	3,39	3,39
Rachis+		1465,00	0,70	0,35	10,26	36,84	3,78	3,78
feuilles		1605,00	0,61	0,36	9,79	37,89	3,71	3,71
	6	1300,00	0,60	0,37	7,80	38,95	3,04	3,04
Moyenne		1412,67	0,65		9,23	35,91	3,31	3,31

Traitements Répétitions	Rendement kg/ha	N %	Excès plante %	N total kg/ha	Ndff %	Ndff kg/ha	CRU %
Mil	Culture continue avec labour						
1	469,00	1,2	0,4	5,63	42,11	2,37	2,37
2	781,00	1,1	0,4	8,59	42,11	3,62	3,62
Grains	642,00	1,15	0,38	7,38	40,00	2,95	2,95
4	725,00	1,3	0,37	9,43	38,95	3,67	3,67
5	773,00	1,25	0,35	9,66	36,84	3,56	3,56
6	780,00	1,2	0,4	9,36	42,11	3,94	3,94
Moyenne	695,00	1,2		8,34	40,18	3,35	3,35
1	3564,00	0,3	0,36	10,69	37,89	4,05	4,05
2	3580,00	0,34	0,37	12,17	38,95	4,74	4,74
Pailles	3333,00	0,35	0,38	11,67	40,00	4,67	4,67
4	3218,00	0,36	0,39	11,58	41,05	4,76	4,76
5	3275,00	0,37	0,36	12,12	37,89	4,59	4,59
6	2962,00	0,33	0,33	9,77	34,74	3,40	3,40
Moyenne	3322,00	0,34		11,33	38,53	4,37	4,37
1	1383,00	0,6	0,32	8,30	33,68	2,80	2,80
2	1958,00	0,61	0,3	11,94	31,58	3,77	3,77
Rachis+ feuilles	1201,00	0,63	0,33	7,57	34,74	2,63	2,63
	1300,00	0,64	0,34	8,32	35,79	2,98	2,98
5	1650,00	0,6	0,35	9,90	36,84	3,65	3,65
6	1500,00	0,6	0,36	9,00	37,89	3,41	3,41
Moyenne	1498,67	0,61		9,17	34,95	3,21	3,21

Traitements Répétitions	Rendement kg/ha	N %	Excès plante %	N total kg/ha	Ndff %	Ndff kg/ha	CRU %
Mil		Rotation sans labour					
1	609,00	1,30	0,33	7,92	34,74	2,75	2,75
2	543,00	1,50	0,35	8,15	36,84	3,00	3,00
3	914,00	1,20	0,35	10,97	36,84	4,04	4,04
Grains	850,00	1,15	0,38	9,78	40,00	3,91	3,91
5	600,00	1,20	0,33	7,20	34,74	2,50	2,50
6	750,00	1,30	0,36	9,75	37,89	3,69	3,70
Moyenne	711,00	1,28		8,96	36,84	2,76	3,32
1	3160,00	0,45	0,30	14,22	31,58	4,49	4,49
2	2872,00	0,35	0,30	10,05	31,58	3,17	3,17
3	2872,00	0,40	0,30	11,49	31,58	3,63	3,63
Pailles	2555,00	0,40	0,36	10,22	37,89	3,87	3,87
5	2444,00	0,45	0,37	11,00	38,95	4,28	4,28
6	3000,00	0,30	0,33	9,00	34,74	3,13	3,13
Moyenne	2817,17	0,39		11,00	34,22	3,76	3,76
1	1152,00	0,70	0,30	8,06	31,58	2,55	2,55
2	1522,00	0,71	0,35	10,81	36,84	3,98	3,98
3	1588,00	0,73	0,30	11,59	31,58	3,66	3,66
Rachis+	1761,00	0,64	0,36	11,27	37,89	4,27	4,27
feuilles	1753,00	0,66	0,35	11,57	36,84	4,26	4,26
6	1800,00	0,67	0,35	12,06	36,84	4,44	4,44
Moyenne	1596,00	0,69		10,89	35,44	3,86	3,86

Traitements Répétitions	Rendement kg/ha	N %	Excès plante %	N total kg/ha	Ndff %	Ndff kg/ha	CRU %
Mil		Rotation avec labour					
1	2038,00	1,30	0,40	26,49	42,11	11,16	11,16
2	1901,00	1,40	0,33	26,61	34,74	9,24	9,24
3	1901,00	1,16	0,30	22,05	31,58	6,96	6,96
Grains	1800,00	1,20	0,43	21,60	45,26	9,78	9,78
5	1679,00	1,20	0,35	20,15	36,84	7,42	7,42
6	1283,00	1,40	0,40	17,96	42,11	7,56	7,56
Moyenne	1767,00	1,28		22,48	38,65	8,69	8,69
1	4193,00	0,30	0,35	12,58	36,84	4,63	4,63
2	4098,00	0,32	0,30	13,11	31,58	4,14	4,14
3	4362,00	0,31	0,40	13,52	42,11	5,69	5,69
Pailles	4596,00	0,30	0,38	13,79	40,00	5,52	5,52
5	4636,00	0,30	0,37	13,91	38,95	5,42	5,42
6	4065,00	0,31	0,32	12,60	33,68	4,24	4,24
Moyenne	4325,00	0,31		13,25	37,28	4,94	4,94
1	1500,00	0,61	0,32	9,15	33,68	3,08	3,08
2	1317,00	0,67	0,30	8,82	31,58	2,79	2,79
3	1786,00	0,65	0,33	11,61	34,74	4,03	4,03
Rachis+	1917,00	0,66	0,35	12,65	36,84	4,66	4,66
feuilles	1473,00	0,65	0,36	9,57	37,89	3,63	3,63
6	1679,00	0,64	0,30	10,75	31,58	3,39	3,39
Moyenne	1612,00	0,65		10,43	34,50	3,60	3,60

Annexe 16 :

Evaluation des ressources azotées à Thilmakha en 1991

- 1- L'azote est apporté sous forme de sulfate d'ammonium,
- 2- la dose apportée sur l'arachide est de 10 kg N/ha à un excès isotopique de départ de 9,55 %,
- 3- celle apporté sur mil est de 100 kg N/ha à un excès isotopique de départ de 0,98 %

Traitements	Rendements	Excès plante	N	N total	Ndff	Ndff	CRU	
Répétitions	kg/ha	%	%	kg/ha	%	kg/ha	%	
Arachide		Sans		fumier				
Grains	1	75	0,45	4,56	3,42	4,71	0,16	1,61
	2	77	0,45	4,57	3,52	4,68	0,16	1,65
	3	75	0,45	4,60	3,45	4,71	0,16	1,63
		60	0,48	4,20	2,52	5,03	0,13	1,27
	5	80	0,46	4,50	3,60	4,82	0,17	1,73
	6	70	0,46	4,60	3,22	4,82	0,16	1,55
	7	70	0,45	4,70	3,29	4,71	0,16	1,55
	8	80	0,47	4,80	3,84	4,92	0,19	1,89
Moyenne	73		4,57	3,36	4,79	0,16	1,61	
Coques	1	75	0,44	1,40	1,05	4,61	0,05	0,48
	2	77	0,48	1,20	0,92	5,03	0,05	0,46
	3	75	0,45	1,10	0,83	4,71	0,04	0,39
		60	0,47	1,20	0,72	4,92	0,04	0,35
	5	80	0,45	1,10	0,88	4,71	0,04	0,41
	6	70	0,46	1,00	0,70	4,82	0,03	0,34
	7	70	0,47	1,50	1,05	4,92	0,05	0,52
	8	80	0,47	1,20	0,96	4,92	0,05	0,47
Moyenne	73	0,45	1,21	0,89	4,83	0,04	0,43	
Pailles	1	401	0,48	2,00	8,02	5,03	0,40	4,03
	2	419	0,45	2,50	10,48	4,66	0,49	4,88
	3	420	0,46	2,00	8,40	4,76	0,40	4,00
		339	0,47	1,85	6,27	4,87	0,31	3,05
	5	432	0,47	1,90	8,21	4,92	0,40	4,04
	6	420	0,45	2,15	9,03	4,71	0,43	4,25
	7	432	0,44	2,10	9,07	4,61	0,42	4,18
	8	370	0,45	2,20	8,14	4,71	0,38	3,84
Moyenne	404		2,09	8,45	4,78	0,40	4,03	

Traitements	Rendements	N	Excès plante	N total	Ndff	Ndff	CRU	
Répétitions	kg/ha	%	%	kg/ha	%	kg/ha	%	
Arachide Avec fumier								
Grains	1	129	4,80	0,25	6,19	2,62	0,16	1,62
	2	150	5,00	0,26	7,50	2,72	0,20	2,04
	3	129	4,70	0,22	6,06	2,30	0,14	1,40
		115	4,80	0,21	5,52	2,20	0,12	1,21
	5	125	4,30	0,22	5,38	2,32	0,12	1,25
	6	130	4,25	0,26	5,53	2,68	0,15	1,48
	7	145	4,50	0,23	6,53	2,41	0,16	1,57
	8	131	4,50	0,24	5,90	2,51	0,15	1,48
Moyenne	132	4,61		6,08	2,48	0,15	1,51	
Coques	1	170	1,60	0,30	2,72	3,14	0,09	0,85
	2	230	1,50	0,22	3,45	2,35	0,08	0,81
	3	230	1,24	0,25	2,85	2,62	0,07	0,75
		200	1,30	0,26	2,60	2,74	0,07	0,71
	5	250	1,25	0,24	3,13	2,51	0,08	0,79
	6	210	1,20	0,22	2,52	2,30	0,06	0,58
	7	190	1,30	0,25	2,47	2,62	0,06	0,65
	8	200	1,00	0,26	2,00	2,73	0,05	0,55
Moyenne	210	1,30		2,72	2,63	0,07	0,71	
Pailles	1	833	2,50	0,03	20,83	3,10	0,70	6,50
	2	744	2,60	0,22	19,34	2,30	0,45	4,46
	3	740	2,70	0,25	19,98	2,62	0,52	5,23
		740	2,30	0,25	17,02	2,62	0,45	4,46
	5	938	2,20	0,26	20,64	2,72	0,56	5,62
	6	883	2,15	0,23	18,98	2,41	0,46	4,57
	7	883	2,50	0,24	22,08	2,51	0,55	5,55
	8	800	2,50	0,26	20,00	2,72	0,54	5,45
Moyenne	820	2,43		19,86	2,27	0,45	5,23	

Traitements	rendements	N	Excès plante	N total	Ndff	Ndff	CRU
Répétitions	kg/ha	%	%	kg/ha	%	kg/ha	%
Mil		Sans		fumier			
1	173	1,20	0,65	2,08	66,33	1,38	1,38
2	173	1,25	0,58	2,16	59,18	1,28	1,28
3	181	1,35	0,62	2,44	63,27	1,55	1,55
4	156	1,30	0,58	2,03	59,18	1,20	1,20
Grains	222	1,35	0,63	3,00	64,29	1,93	1,93
6	247	1,25	0,63	3,09	64,29	1,98	1,98
7	197	1,26	0,59	2,48	60,20	1,49	1,49
8	197	1,27	0,58	2,50	59,18	1,48	1,48
Moyenne	193	1,28		2,47	61,99	1,54	1,54
1	2880	0,55	0,49	15,84	50,00	7,92	7,92
2	2560	0,60	0,50	15,36	51,02	7,84	7,84
3	2272	0,56	0,39	12,72	39,80	5,06	5,06
4	2880	0,50	0,48	14,40	48,98	7,05	7,05
Pailles	2750	0,55	0,55	15,13	56,12	8,49	8,49
6	2600	0,55	0,46	14,30	46,94	6,71	6,71
7	2880	0,45	0,44	12,96	44,90	5,82	5,82
8	2550	0,55	0,60	14,03	61,22	8,59	8,59
Moyenne	2672	0,54		14,34	49,87	7,18	7,18
1	987	0,85	0,35	8,39	35,71	3,00	3,00
2	987	0,90	0,30	8,88	30,61	2,72	2,72
3	898	0,87	0,32	7,81	32,65	2,55	2,55
4	987	0,85	0,33	8,39	33,67	2,83	2,83
Rachis +	914	0,91	0,35	8,32	35,71	2,97	2,97
glumes	900	0,85	0,36	7,65	36,73	2,81	2,81
7	900	0,85	0,37	7,65	37,76	2,89	2,89
8	925	0,90	0,38	8,33	38,78	3,23	3,23
Moyenne	937	0,87		8,18	35,20	2,87	2,87

Traitements Répétitions	Rendements kg/ha	N total %	Excès plante %	N kg/ha	Ndff %	Ndff kg/ha	CRU %
Mil		Avec fumier					
1	353	1,80	0,35	6,35	35,71	2,27	2,27
2	502	1,90	0,33	9,54	33,67	3,21	3,21
3	436	1,75	0,36	7,63	36,73	2,80	2,80
Grains	390	1,75	0,35	6,83	35,71	2,44	2,44
5	400	1,65	0,35	6,60	35,71	2,36	2,36
6	450	1,35	0,36	6,08	36,73	2,23	2,23
7	400	1,85	0,37	7,40	37,76	2,79	2,79
8	436	1,75	0,36	7,63	36,73	2,80	2,80
Moyenne	421	1,73		7,26	36,10	2,61	2,61
1	3662	0,60	0,44	21,97	44,90	9,86	9,86
2	3259	0,65	0,44	21,18	44,90	9,51	9,51
3	3917	0,55	0,35	21,54	35,71	7,69	7,69
Pailles	3745	0,55	0,36	20,60	36,73	7,57	7,57
5	3753	0,66	0,37	24,77	37,76	9,35	9,35
6	3341	0,55	0,38	18,38	38,78	7,13	7,13
7	3555	0,60	0,36	21,33	36,73	7,84	7,84
8	4757	0,60	0,36	28,54	36,73	10,48	10,48
Moyenne	3749	0,60		22,29	39,03	8,68	8,68
1	1103	0,85	0,40	9,38	40,82	3,83	3,83
2	1201	0,75	0,30	9,01	30,61	2,76	2,76
3	1152	0,85	0,35	9,79	35,71	3,50	3,50
Rachis+ glumes	1267	0,86	0,37	10,90	37,76	4,11	4,11
	1275	0,84	0,36	10,71	36,73	3,93	3,93
6	1243	0,86	0,35	10,69	35,71	3,82	3,82
7	1243	0,87	0,36	10,81	36,73	3,97	3,97
8	1300	0,88	0,36	11,44	36,73	4,20	4,20
Moyenne	1223	0,85		10,34	36,35	3,77	3,77

Annexe 17

Bilan de l'azote dans le sol à Bambey en 1990

Chaque valeur représente la moyenne de 6 répétitions

Profondeur cm	N sol ‰	Poids sol t/ha	Excès sol %	N total. sol Kg/ha	Q 15N Kg/ha	NiS (%)
Culture continue avec labour						
0-5	0,128	830	0,092	106,24	0,10	10,15
5-15.	0,128	1660	0,040	212,48	0,09	8,88
15-30	0,14	2280	0,031	319,20	0,10	10,39
30-45	0,117	2260	0,018	264,42	0,05	5,06
45-60	0,095	2280	0,019	216,60	0,04	4,28
60-90	0,084	4500	0,021	378,00	0,08	8,41
90-120	0,067	4531	0,022	303,58	0,07	6,82
120-150	0,061	4560	0,024	278,16	0,07	6,91
0-150						60,9
Culture continue sans labour						
0-5	0,151	800	0,0937	120,80	0,11	11,77
5-15.	0,151	1600	0,048	241,60	0,12	12,05
15-30	0,134	2300	0,024	308,20	0,07	7,69
30-45	0,128	2260	0,015	289,28	0,04	4,51
45-60	0,112	2280	0,0156	255,36	0,04	4,14
60-90	0,1	4560	0,0241	456,00	0,11	11,42
90-120	0,084	4530	0,0294	380,52	0,11	11,63
120-150	0,078	4620	0,0317	360,36	0,11	11,87
0-150						74,98

Profondeur cm	N sol ‰	Poids sol t/ha	Excès sol %	N total. sol Kg/ha	Q 15N Kg/ha	NiS (%)
Rotation avec labour						
0-5	0,125	810	0,1153	101,25	0,12	12,14
5-15.	0,123	1630	0,0443	200,49	0,09	9,23
15-30	0,123	2290	0,0266	281,67	0,07	7,79
30-45	0,116	2230	0,0217	258,68	0,06	5,84
45-60	0,108	2250	0,0332	243,00	0,08	8,39
60-90	0,1	4470	0,0357	447,00	0,16	16,59
90-120	0,09	4620	0,0343	415,80	0,14	14,83
120-150	0,085	4530	0,0314	385,05	0,12	12,57
0-150						87,38
Rotation sans labour						
0-5	0,168	790	0,097	132,72	0,129	13,38
5-15.	0,14	1580	0,028	221,2	0,062	6,44
15-30	0,14	2280	0,0218	319,2	0,070	7,23
30-45	0,134	2200	0,012	294,8	0,035	3,68
45-60	0,123	2200	0,0136	270,6	0,037	3,83
60-90	0,123	4500	0,0099	553,5	0,055	5,70
90-120	0,095	4530	0,0116	430,35	0,050	5,19
120-150	0,095	4562	0,0176	433,39	0,076	7,93
0-150						53,38

Annexe 18

Bilan de l'azote dans le sol à Bambey en 1991

Chaque valeur représente la moyenne de 6 répétitions

Profondeur cm	N ‰	Poids sol t/ha	Excès sol %	N total kg/ha	Q 15N kg/ha	Nis %
Culture continue avec labour						
0-5	0,128	830	0,095	106,24	0,10	10,62
5-15	0,127	1660	0,050	210,82	0,11	11,10
15-30	0,114	2280	0,031	259,92	0,08	8,54
30-45	0,117	2260	0,020	264,42	0,05	5,57
45-60	0,100	2280	0,020	228,00	0,05	4,80
60-90	0,095	4500	0,021	427,50	0,09	9,63
90-120	0,084	4531	0,021	380,60	0,08	8,41
120-150	0,064	4560	0,023	305,52	0,07	7,40
0-150						66,07
Culture continue sans labour						
0-5	0,151	800	0,094	120,80	0,11	11,95
5-15	0,150	1600	0,050	240,00	0,12	12,63
15-30	0,130	2300	0,030	299,00	0,09	9,44
30-45	0,128	2360	0,015	302,08	0,05	4,77
45-60	0,113	2280	0,015	257,64	0,04	4,07
60-90	0,100	4520	0,024	452,00	0,11	11,47
90-120	0,090	4530	0,026	407,70	0,11	11,16
120-150	0,08	4620	0,03	369,6	0,11	11,67
0-150						77,16

Profondeur cm	N ‰	Poids sol t/ha	Excès sol %	N total kg/ha	Q 15N kg/ha	NiS %
Rotation avec labour						
0-5	0,130	850	0,123	110,50	0,14	14,31
5-15	0,125	1630	0,067	203,75	0,14	14,37
15-30	0,123	2290	0,025	281,67	0,07	7,41
30-45	0,110	2250	0,020	247,50	0,05	5,31
45-60	0,105	2250	0,030	236,25	0,07	7,46
60-90	0,100	4470	0,035	447,00	0,16	16,47
90-120	0,090	4500	0,030	405,00	0,12	12,79
120-150	0,065	4530	0,030	294,45	0,09	9,30
0-150						87,42
Rotation sans labour						
0-5	0,160	790	0,087	126,40	0,11	11,58
5-15	0,120	1580	0,030	189,60	0,06	5,99
15-30	0,115	2280	0,023	262,20	0,06	6,35
30-45	0,135	2200	0,013	297,00	0,04	4,06
45-60	0,130	2200	0,014	286,00	0,04	4,09
60-90	0,120	4500	0,012	540,00	0,06	6,82
90-120	0,095	4530	0,012	430,35	0,05	5,25
120-150	0,095	4562	0,0116	433,39	0,05	5,29
0-150						49,44

Annexe 19

Bilan de l'azote dans le sol à Thilmakha en 1991

Chaque valeur représente la moyenne de 4 répétitions

Profondeur cm	N sol ‰	Poids sol t/ha	Excès sol %	N total sol kg/ha	Q 15N kg/ha	NiS %
Avec fumier						
0-5	0,13	810	0,119	108,54	0,13	13,17
5-15	0,13	1630	0,037	211,90	0,08	7,91
15-30	0,13	2290	0,032	286,25	0,09	9,43
30-45	0,12	2230	0,023	274,29	0,06	6,49
45-60	0,12	2250	0,023	261,00	0,06	5,99
60-90	0,11	4470	0,022	482,76	0,11	10,99
90-120	0,10	4620	0,025	462,00	0,12	11,79
120-150	0,09	4530	0,023	385,05	0,09	9,04
0-150						74,81
Sans fumier						
0-5	0,11	790	0,123	88,48	0,11	11,13
5-15	0,11	1580	0,046	173,80	0,08	8,07
15-30	0,11	2280	0,032	248,52	0,08	8,14
30-45	0,10	2200	0,030	224,40	0,07	6,87
45-60	0,10	2200	0,014	226,60	0,03	3,14
60-90	0,10	4500	0,013	450,00	0,06	5,74
90-120	0,09	4530	0,012	407,70	0,05	4,83
120-150	0,09	4562	0,176	387,77	0,07	6,96
0-150						54,89

Annexe 20 Valeurs moyennes de l'azote (‰) du sol mesurées à 3 époques pour la détermination du coefficient k_2 à Bambey

	1978*	1987	1991
Culture continue			
Sans labour	0,14 ± 0,02 **	0,15 ± 0,02	0,12 ± 0,01
Avec labour	0,15 ± 0,03	0,16 ± 0,03	0,14 ± 0,03
Rotation			
Sans labour	0,15 ± 0,02	0,16 ± 0,01	0,13 ± 0,01
Avec labour	0,135 ± 0,01	0,14 ± 0,02	0,13 ± 0,03

* Valeurs fournies Chopart et Nicou (1987)

** Chaque valeur représente la moyenne de 6 répétitions assorties de l'écart type de la moyenne.

Annexe 21 Valeurs moyennes de l'azote (‰) du sol mesurées à 3 époques pour la détermination du coefficient k_2 à Thilmakha

	1978	1988	1991
Sol de départ	0,136		
Témoin		0,14 ± 0,02 **	0,13 ± 0,02
Sans fumier		0,18 ± 0,01	0,11 ± 0,01

** Chaque valeur représente la moyenne de 8 répétitions assorties de l'écart type de la moyenne.

Annexe 22

Répétitions	Biomasse C. Avant semis	Biomasse C. Après semis	Biomasse C. à la récolte
	Jachère		
1,00	156,70	390,00	450,55
2,00	143,25	355,00	461,76
3,00	150,22	380,83	461,76
Moyenne	150,06	375,28	458,02
	Culture continue avec labour		
1,00	82,00	87,00	125,80
2,00	91,80	91,20	110,90
3,00	92,50	100,00	124,50
Moyenne	88,77	92,73	120,40
	Culture continue Sans labour		
1,00	82,20	72,50	160,80
2,00	85,00	77,50	135,30
3,00	80,00	77,50	140,70
Moyenne	82,40	75,83	145,60
	Rotation Avec labour		
1,00	66,20	107,50	190,50
2,00	58,70	120,00	150,90
3,00	60,30	114,00	166,05
Moyenne	61,73	113,83	169,15
	Rotation Sans labour		
1,00	60,50	127,50	95,75
2,00	62,50	117,50	98,10
3,00	54,25	126,50	90,50
Moyenne	59,08	123,83	94,78

Annexe 23

Répétitions	Biomasse C. Avant semis	Biomasse C. Après semis	Biomasse C. à la récolte
Jachère			
1,00	73,70	63,70	150,60
2,00	74,00	64,50	160,10
3,00	75,00	64,20	175,80
Moyenne	74,23	64,13	162,17
Sans fumier			
1,00	35,00	30,00	75,00
2,00	27,50	25,00	78,30
3,00	27,50	25,00	77,25
Moyenne	30,00	26,67	76,85
Avec fumier			
1,00	76,50	58,00	125,00
2,00	75,00	64,00	100,00
3,00	55,00	51,00	130,00
Moyenne	68,83	57,67	118,33

**AUTORISATION DE SOUTENANCE DE THESE
DU DOCTORAT DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE
LORRAINE**

o0o

VU LES RAPPORTS ETABLIS PAR :

**Monsieur GANRY François, Directeur de Recherche, CIRAD-CA Montpellier,
Monsieur GUIRAUD Gérard, Directeur de Recherche, CEA Cadarache.**

Le Président de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, autorise :

Madame BADIANE - NIANE Aminata

à soutenir devant l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE, une thèse
intitulée :

"Le statut organique d'un sol sableux de la zone Centre-Nord du Sénégal"

en vue de l'obtention du titre de :

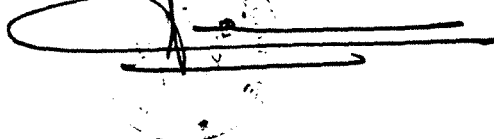
DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

Spécialité : **"SCIENCES AGRONOMIQUES"**

Fait à Vandoeuvre le, **19 Mai 1993**

Le Président de l'I.N.P.L.,

M. LUCTUS



RESUME

*

* *

Le statut organique d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé de texture sableuse de la zone Centre-Nord du Sénégal a été étudié sur deux dispositifs de longue durée où le labour, l'apport de fumier et diverses successions culturales ont induit une différenciation dans la productivité du sol.

Sur le long terme, l'apport de fumure minérale seule avec et sans labour et la culture continue d'arachide ont entraîné une baisse moyenne des teneurs en carbone du sol de 1,5 à 2 % par an tandis que l'apport de fumier permet une augmentation annuelle voisine de 1 %.

On a tenté d'expliquer les mécanismes d'évolution de la matière organique du sol et du cycle interne de l'azote et d'en tirer les conséquences agronomiques ; notamment, on a suivi à l'aide du ^{15}N le devenir in situ d'un fertilisant azoté.

Le coefficient réel d'utilisation de l'azote engrais par la culture de mil est particulièrement faible (10 à 17 %) ; par contre l'immobilisation de cet azote engrais dans le sol en fin de culture atteint selon les traitements 44 à 80 % de l'apport. Ce fait est à rapprocher de l'importante augmentation de la biomasse microbienne observée en fin de période pluvieuse (80 à 100 % selon les traitements) par rapport au début de la même période. Le fractionnement des composés organiques azotés par hydrolyse acide a montré que les pratiques culturales telles que le labour, la rotation arachide-mil et surtout l'apport de fumier augmentent de façon significative la teneur en azote alpha-aminé du sol ; cet azote contribue fortement au pool mobilisable par les cultures.

Ces phénomènes soulignent la capacité du sol à mettre en réserve l'azote avant la saison sèche mais aussi la difficulté à gérer la fertilité azotée de ces terres dont il est :

- d'une part indispensable de minimiser les pertes par lixiviation d'azote nitrique lors de l'installation des pluies dont les conséquences peuvent être néfastes sur la fertilité globale des sols (acidification),
- d'autre part nécessaire d'optimiser la récupération par les cultures suivantes des importants reliquats d'azote engrais immobilisés.

Mots-clés : Centre-Nord Sénégal, Sol ferrugineux-tropical, Statut organique, ^{15}N , Composés organiques azotés, Immobilisation, Biomasse microbienne, acidification.