



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>

136019 4075

99INPL1105

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'AGRONOMIE ET DES
INDUSTRIES ALIMENTAIRES

_____ [7] 1999 FERNANDES, P.
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

Paula FERNANDES

Ingénieur agronome

EFFETS DES MODES DE GESTION DES TERRES EN ZONE SAHELIENNE
SUR LES TERMES ET L'EVOLUTION DE LEUR BILAN ORGANIQUE ET
BIOLOGIQUE : CONSEQUENCES POUR UNE PRODUCTION CEREALIERE
SOUTENUE - CAS DU SENEGAL.

Soutenue publiquement le 29 octobre 1999

devant la commission d'examen

_____ Membres du Jury :

M. A. GUCKERT
M. F. GANRY
M. G. GUIRAUD
M. J.-L. CHOTTE
M. R. OLIVER
Mme A.N. BADIANE

Président
Directeur de thèse
Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur

Service Commun de la Documentation
INPL
Nancy-Brabois

REMERCIEMENTS

Nombreuses sont les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à ce travail. Je tâcherai de rendre ici un hommage à chacun et prie ceux que j'aurais malencontreusement oublié de ne pas m'en tenir rigueur.

Cette thèse a pu être réalisée grâce à l'appui et à l'encadrement de deux institutions rompues à une longue collaboration : le CIRAD (Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement) et l'ISRA (Institut Sénégalais de Recherches Agronomiques). Je souhaite donc remercier leurs dirigeants successifs (M. De Nuce de Lamothe et B. Bachelier pour le CIRAD, J. Faye et M. Bakhayokho pour l'ISRA) pour leur bienveillance, ainsi que le ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche pour son soutien financier.

C'est très respectueusement que j'adresse mes vifs remerciements au Professeur Armand GUCKERT qui préside ce jury. J'ai beaucoup d'admiration pour son enthousiasme, sa passion pour la recherche, ainsi que sa disponibilité à l'égard de ses étudiants qu'il sait conseiller, voire mettre en garde. J'ai eu beaucoup de chance de pouvoir bénéficier de son enseignement et de sa contribution à l'ENSAIA.

C'est avec beaucoup de reconnaissance que je remercie M. Francis GANRY, à qui je dois l'initiative et la direction de cette thèse, et qui, grâce aux bonnes relations qu'il entretient avec l'ISRA et l'IRD (ex-ORSTOM), m'a permis de collaborer avec différents chercheurs. Il a également su, avec bonne humeur, régler de nombreux problèmes (et ils n'ont pas manqué !) afin de me permettre de travailler dans les meilleures conditions possibles et de surmonter les difficultés inhérentes à la recherche en coopération. Je lui sais aussi gré de la sympathie qu'il m'a témoigné tout au long de ce travail.

Que M. Robert OLIVER et Mme Aminata NIANE BADIANE, tous deux co-directeurs de cette thèse, soient assurés de ma plus profonde gratitude. Avec un constant dévouement et une rare disponibilité, R. OLIVER a été présent à toutes les étapes de ce travail, l'enrichissant d'innombrables idées et me faisant bénéficier d'un esprit critique très affûté ! Sa contribution à la préparation des expérimentations, tant sur le terrain qu'au laboratoire, et à l'analyse des résultats est considérable et nos innombrables discussions ont été autant d'occasions pour moi de bénéficier de son vaste champ de connaissances. Sa patience et ses qualités pédagogiques sont légendaires. C'est avec la formidable énergie qui la caractérise que Mme BADIANE m'a appuyée, tant sur le plan matériel que scientifique, et judicieusement

conseillée, aussi bien lors de mes séjours dans son laboratoire qu'après mon retour en métropole. Leurs expériences respectives, leurs appuis logistiques et leur complicité à tous deux m'ont été d'un grand secours, comme d'ailleurs leur compréhension et leur sympathie à mon égard.

Le Professeur Gérard GUIRAUD, éminent spécialiste de l'azote et des techniques isotopiques, me fait un grand honneur en acceptant de juger ce travail et je lui en suis très reconnaissante.

C'est très chaleureusement que je remercie M. Jean-Luc CHOTTE, qui a également accepté la charge de rapporteur et de se déplacer depuis Dakar à cette seule fin. Il était important pour moi qu'il fasse partie du jury car il possède une parfaite connaissance du milieu et du sujet de cette étude. Je le remercie pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail et sa grande disponibilité. Je lui sais aussi gré de sa sympathie à mon égard.

Je tiens également à remercier vivement Mme Cécile VILLENAVE qui a accepté de participer à cette étude et de me faire bénéficier de ses compétences en nématologie. Je ne saurais oublier M. Modou SENE pour son dispositif de Thyssé-Kaymor, ainsi que pour ses nombreux conseils et sa patience à mon égard.

J'exprime toute ma gratitude à deux grands artisans de cette thèse : MM. Youssouph NDIAYE et Jean-Luc MARGER, respectivement techniciens de l'ISRA et du CIRAD, qui, l'un au Sénégal, l'autre à Montpellier, ont beaucoup contribué à la réalisation de ces travaux et m'ont toujours astucieusement conseillée. Leurs expériences respectives et leur fiabilité à tous deux sont ma meilleure garantie. A « M. 100 000 volts », un grand merci pour ton abnégation, ta remarquable endurance et ta très grande motivation qui t'ont fait oublier les horaires, les fins de semaines, et même les vacances (!), et sans qui il n'aurait pas été possible de réaliser des programmes de campagne disons « optimistes » ! Je n'oublie pas ton sens de la diplomatie (parfois souterraine ??) et ta bonne gestion de nos braves ouvriers (et ouvrières !). Remercie-les bien de ma part, ainsi que nos patients chauffeurs ! A « Titi », toutes mes condoléances pour les quelques 3 000 dosages de CO₂ effectués en pure perte (!) et les milliers de dosages en tous genres réalisés avec la précision et l'honnêteté que l'on te connaît, et malgré l'ennui que toutes ces répétitives analyses ont pu te causer. Est-il nécessaire d'évoquer de nouveau la bonne ambiance que tu sais faire régner dans ton labo et tout ce que l'on regroupe habituellement en parlant de tes « qualités humaines » tant elles sont devenues un lieu commun ? A mes complices de tous les jours (et de toutes les galères !) un grand merci pour votre patience à mon égard et l'amitié que vous m'avez témoignée en toutes circonstances.

Il m'est agréable de remercier MM. Philippe LETOURMY, Eric GOZE et David BOGGIO, pour leur regard critique sur les dispositifs expérimentaux avant campagnes, ainsi que Jean THIOULOUSE, biométricien au CNRS, pour sa contribution à l'analyse des données issues des tests en milieu paysan.

Je remercie sincèrement M. Jean-Louis MESSAGER, délégué CIRAD à Dakar, pour son appui lors de mes séjours au Sénégal. Aidé de son équipe, notamment Mme Geneviève MALACK et M. Philippe SECK, il a toujours cherché (et trouvé !) les moyens de me simplifier la tâche. A ce titre, je tiens également à remercier MM. Daniel ANNEROSE et Harold MACAULEY, successivement directeurs du CERAAS, pour leur bienveillance à mon égard et leur soutien logistique, ainsi que tous les membres de leur équipe pour leur aide et leur accueil, toujours chaleureux.

Que soient également chaleureusement remerciés Samba CISSE et Saliou FAYE pour leur appui technique et leur bienveillance, et Abdoulaye FAYE pour son appui en bioclimatologie et sa sympathie à mon égard. Je ne saurais oublier l'excellent Pape Omar DIEYE pour son sérieux et son expérience du terrain, ni José ROMERO qui a, avec patience, suivi un très grand nombre de dosages à Montpellier, ou encore Joël FARDOUX pour sa collaboration. Je voudrais également remercier, pour leur aide discrète mais efficace, les équipes du laboratoire central d'analyses et « Fermin » de Bambey, et saluer au passage Abdou FALL, Ngor SENE, Almamy NDIAYE, Ibra DIOP, Mamadou NIANG et le remarquable travail des équipes de météorologie de Bambey et de Nioro.

Que soient également remerciées les équipes du laboratoire d'analyses du CIRAD et du programme Agro-alimentaire pour les nombreuses analyses effectuées dans des délais parfois très courts, ainsi que celle du laboratoire d'analyses isotopiques du CNRS à Solaize.

Je tiens également à remercier Benoit LESAGE et Boris SZEMPRUCH, CSN successifs du laboratoire de Biochimie des sols de Bambey, pour leur patience et pour m'avoir, chacun à leur manière, aidée dans ma tâche et pris le relais en mon absence.

Je ne saurais oublier :

- M. Jean-Pierre NDIAYE, directeur scientifique de l'ISRA pour son soutien,*
- MM. Florent MARAUX, chef du programme Agronomie, et Yves BENESTAN, délégué des Ressources Humaines, pour leur compréhension à mon égard,*
- M. Dogo SECK, chef du centre de Bambey, MM. Saliou NIANG, Demba SOW et Alioune MBODJ, de la gestion de station pour m'avoir fourni, chaque fois que cela était possible, l'appui logistique demandé,*

- MM. Jean-Louis MANGA et Tanor NDAO, chefs successifs de la station de Nioro, pour leur appui et leur chaleureux accueil.

Je voudrais également remercier les membres de l'équipe Soltrop (ex-FCM) qui m'a accueilli pendant toute la durée de ces travaux, notamment Mmes KELEMEN, LOUYS et SAURA, ainsi que Michel FORTIER, Claire CHEVASSUS et celles qui m'ont précédé, Véronique et Nathalie, pour leurs conseils avisés. Je n'oublie pas Agnès LHERBET pour son travail de fourmi (pardon de cartographie !), et Jean-Claude LORRENTE. Merci également à Michel PUARD, Marinus BROUWERS, Dominique DUREAU et Hervé GUIBERT.

Un grand merci encore aux Popotéens (David, Regi, Bobo, Seb, Manu, Robert, Zennifly, Tanguy, Caro...), aux Ciradiens de Bambey (Alain, José et Danièle) et à Doudou, Mame, Irène, Rosalie, Rachel, Isa, Sylvie, Patricia, Evelyne, Annette... de m'avoir vaillamment supportée !! (devinez dans quel sens il faut le prendre !)

Enfin, je dédie cette thèse à mes parents pour leur indéfectible soutien et une affection sans cesse témoignée qui ne se sont jamais démentis en vingt-sept longues années !!

LISTE DES ABBREVIATIONS

Arg.	Teneur en argile
BM_C	Biomasse microbienne
CEC	Capacité d'échange cationique
Ct	Carbone total du sol
Ecart moyen .	Ecart type de la moyenne
Lim. fins	Limons fins (2 à 20 µm)
MO	Matière organique
MOS	Matière organique du sol
MS totale	Matière sèche totale aérienne
Nb épis	Nombre d'épis
Nt	Azote total du sol
Nit_{br}	Nitrification brute
Nit_{fix}	Nitrification brute calculée avec hypothèse de défaut de bilan par fixation sur le complexe argilo-humique
Nit_{nt}	Nitrification nette
Nit_{per}	Nitrification brute calculée avec hypothèse de défaut de bilan dû à des pertes par drainage
Nit_{pot}	Nitrification potentielle
Pass	Phosphore assimilable
q_{BMc}	Quotient microbien

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I :	Les grands types de sols du Sénégal (d'après Maignien, 1965)
Tableau II :	Rendements moyens des principales cultures du Sénégal sur la période 1961-1996 (FAO/FAOSTAT, 1999 #261)
Tableau III :	Codification des traitements de l'essai « courbe de Réponse à la Matière Organique » (RMO)
Tableau IV :	Caractéristiques physico-chimiques du sol avant mise en place des traitements de l'essai « Courbe de Réponse à la Matière Organique » (juin 1992).
Tableau V :	Caractéristiques physico-chimiques moyennes observées en 1992 et 1996 sur l'horizon 0-20 cm et comparaison des moyennes (effet année) par le test de Student.
Tableau VI :	Comparaison, après quatre années de traitements, des caractéristiques chimiques de l'horizon 0-10 cm des traitements « extrêmes » (effets « dose », « série » et « bloc ») - Résultats du test de comparaison sur les moyennes (Newman-Keuls).
Tableau VII :	Compositions respectives (en % de la MS, sauf ratios) du fumier et du compost apportés en 1996 .
Tableau VIII :	Moyennes des caractéristiques physico-chimiques des parcelles de l'essai RMO annuel de la station de Bambey avant campagne et à la clôture de l'essai (juin et décembre 1997).
Tableau IX :	Variations moyennes (en %) des caractéristiques chimiques observées en fin d'essai sur les différents traitements par rapport à l'état initial du sol de l'essai annuel et résultat du test de comparaison des moyennes SNK.
Tableau X :	Compositions respectives (en %) du fumier et du compost apportés en 1997.
Tableau XI :	Production (MS totale) en kgMS ha ⁻¹ mesurée sur l'ensemble des traitements de l'essai RMO pérenne de Bambey de 1992 à 1997 - Rotation mil-arachide.
Tableau XII :	Production et exportations minérales relevées sur la culture de mil de l'essai annuel à RMO pérenne de Bambey en 1997.
Tableau XIII :	Caractéristiques physico-chimiques du sol de l'essai de Thyssé-Kaymor en 1996 (avant campagne), horizon 0-10 cm.
Tableau XIV :	Vitesses de nitrification (en mg kg ⁻¹ j ⁻¹) mesurées à Thyssé-Kaymor pendant l'hivernage 1996 selon les différents modes d'évaluation.
Tableau XV :	Matrice des corrélations (partielle) entre MStotale, nitrifications nette et brute et caractéristiques physico-chimiques du sol de Thyssé-Kaymor.
Tableau XVI :	Production totale estimée (kg ha ⁻¹) d'azote nitrique de l'horizon 0-10 cm sur l'essai RMO pérenne de Bambey en 1996 .
Tableau XVII :	Matrice des corrélations (partielle) pour l'essai RMO pérenne en 1996 (mil)
Tableau XVIII :	Production totale estimée (kg ha ⁻¹) d'azote nitrique de l'horizon 0-10 cm sur l'essai RMO pérenne de Bambey en 1997.
Tableau XIX :	Matrice des corrélations (partielle) pour l'essai RMO pérenne en 1997 (arachide).
Tableau XX :	Matrice des corrélations (partielle) pour l'essai RMO annuel en utilisant les caractéristiques physico-chimiques du sol avant campagne.
Tableau XXI :	Matrice des corrélations (partielle) pour l'essai RMO annuel en utilisant les caractéristiques physico-chimiques du sol après campagne.
Tableau XXII :	Matrice des corrélations entre les composantes biologiques de l'essai de Thyssé-Kaymor (parcelles P3, P5 et P6 uniquement) et les principales caractéristiques physico-chimiques du sol.
Tableau XXIII :	Matrice des corrélations (partielle) pour les composantes biologiques des sols de l'essai RMO pérenne de Bambey, campagne 1996.
Tableau XXIV :	Matrice des corrélations (partielle) pour les composantes biologiques de l'essai RMO pérenne de Bambey, campagne 1997.
Tableau XXV :	Matrice des corrélations (partielle) entre les composantes biologiques du sol, la production végétale et les caractéristiques physico-chimiques du sol sur l'essai RMO annuel de Bambey (campagne 1997).
Tableau XXVI :	Caractéristiques moyennes des sols des essais en milieu paysan avant et après campagne, à Nioro et à Bambey.

- Tableau XXVII :** Test de comparaison des moyennes sur les teneurs en argile+limons fins des essais en milieu paysan en fonction du type de sol défini par Bertrand (1971).
- Tableau XXVIII :** Compositions moyennes des fumiers par provenance
- Tableau XXIX :** Composition (en % de la MS) en fibres et polyphénols de quelques fumiers paysans.
- Tableau XXX :** Moyennes des quantités d'éléments apportés à l'ha par provenance
- Tableau XXXI :** Groupes issus de l'analyse discriminante des variables biologiques de la zone de Nioro.
- Tableau XXXII :** Groupes issus de l'analyse discriminante des variables biologiques de la zone de Bambey.
- Tableau XXXIII :** Groupes d'apports de fumier pour la zone de Nioro.
- Tableau XXXIV :** Groupes d'apports de fumier pour la zone de Bambey.
- Tableau XXXV :** Groupes de sols pour la zone de Nioro.
- Tableau XXXVI :** Groupes de sols pour la zone de Bambey.
- Tableau XXXVII :** Groupes de production végétale pour la zone de Nioro.
- Tableau XXXVIII :** Groupes de production végétale pour la zone de Bambey.
- Tableau XXXIX :** Niveaux des témoins et de la réponse au fumier pour les différentes variables étudiées, Nioro.
- Tableau XL :** Niveaux des témoins et de la réponse au fumier pour les différentes variables étudiées à Bambey.
- Tableau XLI :** Profils de comportements homogènes (sur la base d'un tri décroissant) pour Nioro.
- Tableau XLII :** Profils de comportements homogènes (sur la base d'un tri décroissant) pour Bambey.

LISTE DES FIGURES

- Figure 1a** : Superficies cultivées (en milliers d'hectares) pour les principales cultures du Sénégal de 1961 à 1996.
- b** Evolution des rendements moyens (en kg ha^{-1}) pour les principales cultures du Sénégal de 1961 à 1996.
- c** Production nationale (en milliers de tonnes) pour les principales cultures du Sénégal de 1961 à 1996.
- Figure 2** : Plan de l'essai « courbe de réponse à la matière organique ».
- Figure 3** : Dispositif de l'essai RMO annuel mis en place pour la campagne 1997.
- Figure 4** : Essai « travail du sol*compost » de Thyssé-Kaymor.
- Figure 5** : Distribution des placettes d'observation sur l'essai de Thyssé-Kaymor.
- Figure 6a** : Exemple d'aménagement des placettes test dans un champ paysan.
- b** Aménagement d'un bloc test en milieu paysan.
- Figure 7** : Modèle de cylindre utilisé pour la détermination de la nitrification *in situ*.
- Figure 8** : Evolution de la teneur en carbone total (Ct en %) sur l'essai RMO pérenne de Bambey entre 1992 et 1996.
- Figure 9** : Evolution de la teneur en phosphore assimilable (Pass en mg kg^{-1}) sur l'essai RMO pérenne de Bambey entre 1992 et 1996.
- Figure 10** : Evolution de la teneur en carbone total (Ct en %) des sols de l'essai RMO pérenne entre 1996 avant campagne et 1997 après campagne (moyennes et écarts-types).
- Figure 11** : Evolution de la teneur en phosphore assimilable (Pass en mg kg^{-1}) des sols de l'essai RMO pérenne entre 1996 et 1997 après campagne (moyennes et écarts-types).
- Figure 12** : Bilan hydrique simulé de la culture de mil Souna III pour l'essai en station de Bambey, campagne 1997 (essai annuel).
- Figure 13** : Bilans hydriques simulés pour l'essai en station de Bambey, campagnes 1996 et 1997 (essai pérenne).
- Figure 14** : Bilans hydriques simulés pour les campagnes 1992 à 1995 sur l'essai RMO pérenne de Bambey.
- Figure 15** : Evolution de la nitrification nette (Nit_{nt} en $\text{mgN kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$) sur l'essai « Travail du sol*compost » au cours de l'année 1996-97.
- Figure 16** : Relation entre la nitrification nette (Nit_{nt} en $\text{mgN kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$) et la nitrification brute calculée selon les hypothèses de drainage (Nit_{per}) et de fixation (Nit_{fix}), tous points pris en compte.
- Figure 17** : Relation entre la nitrification nette (Nit_{nt} en $\text{mgN kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$) et la nitrification brute calculée selon les hypothèses de drainage (Nit_{per}) et de fixation (Nit_{fix}), sauf points extrêmes (pour $\text{Nit}_{\text{nt}} = 0.820$).
- Figure 18** : Relation entre la MStotale (kg ha^{-1}) et la fourniture de N estimée par Nit_{per} , Nit_{fix} et Nit_{nt} .
- Figure 19** : Bilan hydrique simulé de la culture de maïs de l'essai « travail du sol*compost » de Thyssé, 1996.
- Figure 20** : Evolution de la nitrification nette (Nit_{nt} en $\text{mgN kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$) sur l'essai RMO pérenne de Bambey, campagne 1996 et saison sèche 1996-1997 (culture de mil, variété Souna III).
- Figure 21** : Evolution de la nitrification nette (Nit_{nt} en $\text{mgN kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$) sur l'essai RMO pérenne de Bambey, campagne 1997 (culture d'arachide, variété 55-437).
- Figure 22** : Evolution de la nitrification nette (Nit_{nt} en $\text{mgN kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$) sur l'essai RMO annuel de Bambey, campagne 1997 (culture de mil, variété Souna III).
- Figure 23** : Evolution de la biomasse microbienne (BM_C en mgC kg^{-1}) sur l'essai « Travail du sol*compost » de Thyssé-Kaymor, 1996-1997.
- Figure 24** : Evolution de la biomasse microbienne (BM_C en mgC kg^{-1}) sur l'essai RMO pérenne de Bambey au cours de l'année 1996-97.
- Figure 25** : Evolution de la biomasse microbienne (BM_C en mgC kg^{-1}) sur l'essai RMO pérenne de Bambey au cours de l'hivernage 1997.
- Figure 26** : Evolution de la biomasse microbienne (BM_C en mgC kg^{-1}) sur l'essai RMO annuel de Bambey pendant l'hivernage 1997.
- Figure 27** : Bilan hydrique simulé de la culture de mil Souna III pour les trois villages de la campagne 1997, zone de Nioro (Z1).
- Figure 28** : Bilan hydrique simulé de la culture de mil Souna III pour les deux villages de la campagne 1997, zone de Bambey (Z2).

- Figure 29** : Production de matière sèche totale (kg ha^{-1}) sur les placettes témoins des essais en milieu paysan, zone de Nioro.
- Figure 30** : Production de matière sèche totale (kg ha^{-1}) sur les placettes témoins des essais en milieu paysan, zone de Bambey.
- Figure 31** : Estimation de la fourniture du sol en azote sous forme nitrique (kgN ha^{-1}) pendant toute la campagne, basée sur la capacité nitrifiante mesurée *in situ*, dans l'horizon 0-10 cm ; témoin des essais en milieu paysan de la zone de Nioro.
- Figure 32** : Estimation de la fourniture du sol en azote sous forme nitrique (kgN ha^{-1}) pendant toute la campagne, basée sur la capacité nitrifiante mesurée *in situ*, dans l'horizon 0-10 cm ; témoin des essais en milieu paysan de la zone de Bambey.
- Figure 33** : Capacité nitrifiante potentielle (Nit_{pot} en $\text{mgN kg}^{-1} \text{j}^{-1}$) mesurée avant et après campagne sur les témoins des essais en milieu paysan de la zone de Nioro.
- Figure 34** : Capacité nitrifiante potentielle (Nit_{pot} en $\text{mgN kg}^{-1} \text{j}^{-1}$) mesurée avant et après campagne sur les témoins des essais en milieu paysan de la zone de Bambey.
- Figure 35** : Biomasse microbienne (BM_C en mgC kg^{-1}) mesurée en fin de cycle sur les témoins des essais en milieu paysan de la zone de Nioro.
- Figure 36** : Biomasse microbienne (BM_C en mgC kg^{-1}) mesurée en fin de cycle sur les témoins des essais en milieu paysan de la zone de Bambey.
- Figure 37** : Variation de la MStotale (kg ha^{-1}) induite par l'apport de fumier (en toile de fond la MStotale des placettes témoins), zone de Nioro.
- Figure 38** : Variation de la MStotale (kg ha^{-1}) induite par l'apport de fumier (en toile de fond la MStotale des placettes témoins), zone de Bambey.
- Figure 39** : Capacité nitrifiante *in situ* moyenne (en $\text{mgN kg}^{-1} \text{j}^{-1}$) par zone et par traitement (avec écarts-types des moyennes).
- Figure 40** : Capacité nitrifiante potentielle moyenne (en $\text{mgN kg}^{-1} \text{j}^{-1}$) par zone et par traitement (avec écarts-types des moyennes).
- Figure 41** : Biomasses microbiennes moyennes (BM_C en mgC kg^{-1}) par zone et par traitement (avec écarts-types des moyennes).
- Figure 42** : Position des groupes de sols de la zone de Nioro sur le plan 1-2 (97% de la variabilité).
- Figure 43** : Liaisons entre les variables étudiées pour la zone de Nioro (Z1)
- Figure 44** : Liaisons entre les variables étudiées pour la zone de Bambey (Z2)

LISTE DES CARTES

- Carte 1 :** Localisation de la zone d'étude.
- Carte 2 :** Evolution de la pluviosité au Sénégal entre 1950 et 1995.
- Carte 3 :** Carte pédologique de Nioro réalisé par Bertrand (1971).
- Carte 4 :** Zoom réalisé sur la carte pédologique de Bertrand (1971) – Position des champs de la zone de Nioro.

SOMMAIRE

Remerciements	i
Liste des abbréviations utilisées	v
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	viii
Liste des cartes	x
1. INTRODUCTION	1
2. CADRE DE L'ETUDE	4
<i>2.1 LE MILIEU PEDO-CLIMATIQUE</i>	4
2.1.1 La région d'étude	4
2.1.2 Le climat	4
2.1.2.1 Régime pluviométrique	4
2.1.2.2 Températures	5
2.1.2.3 Demande évaporative	5
2.1.3 Les sols	6
2.1.4 La végétation	6
<i>2.2 LA SITUATION AGRICOLE AU SENEGAL</i>	7
2.2.1 Généralités	7
2.2.2 Evolution de la production agricole	8
2. MATERIEL ET METHODES	11
<i>3.1 SITES D'EXPERIMENTATION</i>	<i>11</i>
3.1.1 Introduction	11
3.1.2 Les essais en station	11
3.1.2.1 L'essai « courbe de réponse à la matière organique » (RMO)	11
3.1.2.1.1 Ses objectifs	11
3.1.2.1.2 Le dispositif (Figure 2)	12
3.1.2.1.3 Choix des traitements	13
3.1.2.1.4 Modalités des prélèvements de sol et traitement des récoltes	13
3.1.2.2 L'essai RMO annuel	15
3.1.2.2.1 Son objectif	15
3.1.2.2.2 Le dispositif (Figure 3)	16
3.1.2.2.3 Modalités des prélèvements de sol et traitement de la récolte	16
3.1.2.3 L'essai « Travail du sol*compost »	17
3.1.2.3.1 Ses objectifs	17
3.1.2.3.2 Le dispositif (Figure 4)	18
3.1.2.3.3 Choix des traitements et modalités des prélèvements de sol	19
3.1.3 L'essai multilocal en milieu paysan	20
3.1.3.1 Son objectif	20
3.1.3.2 Le dispositif	21
3.1.3.3 Modalités des prélèvements de sol	22
3.1.3.4 Les plantes	23

3.2 METHODES	23
3.2.1 Caractérisation physico-chimique des sols	23
3.2.2 Caractérisation biologique des sols	24
3.2.2.1 Quantification de la biomasse microbienne	25
3.2.2.2 Détermination de la nitrification in situ	28
3.2.2.3 Détermination de la nitrification nette potentielle	30
3.2.3 Analyses des plantes récoltées et des fumiers	30
4. APPROCHE EN STATION DES EFFETS DES APPORTS DE MATIERE ORGANIQUE SUR L'ETAT DU SOL ET SES CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES	
4.1 INTRODUCTION	33
4.2 LA COMPOSANTE CHIMIQUE DE LA FERTILITE DU SOL ET LA PRODUCTION VEGETALE : ROLE DES APPORTS ORGANIQUES	34
4.2.1 Evolution physico-chimique des sols de Bambey	34
4.2.1.1 Essai RMO pérenne	34
4.2.1.1.1 Etat du sol de départ	34
4.2.1.1.2 Etat du sol après deux rotations (4 ans) (voir annexe 1)	35
4.2.1.1.3 Etat du sol après trois rotations (6 ans)	38
4.2.1.2 Essai RMO annuel (campagne 1997)	40
4.2.1.2.1 Etat du sol de départ	40
4.2.1.2.2 Etat du sol après une campagne	41
4.2.1.3 Discussion	43
4.2.1.4 En résumé	45
4.2.2 La production végétale comme indicateur de l'évolution du sol de Bambey	45
4.2.2.1 Evolution des rendements de l'essai RMO pérenne	45
4.2.2.2 Les rendements de l'essai RMO annuel	48
4.2.2.3 Discussion	48
4.2.2.4 En résumé	49
4.3 LA COMPOSANTE BIOLOGIQUE DE LA FERTILITE DU SOL : SA RELATION AVEC LA COMPOSANTE CHIMIQUE ET AVEC LE RENDEMENT DES CULTURES	50
4.3.1 Nitrification nette <i>in situ</i>	50
4.3.1.1 A Thyssé-Kaymor	51
4.3.1.2 A Bambey	54
4.3.2 La biomasse microbienne	57
4.3.2.1 A Thyssé-Kaymor	58
4.3.2.2 A Bambey	59
4.3.3 Discussion	60
4.3.4 En résumé	62
4.4 CONCLUSION	63
5. APPROCHE EN MILIEU PAYSAN DES EFFETS D'UN APPORT DE FUMIER SUR L'ETAT DU SOL ET SES CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES	65
5.1 INTRODUCTION	65
5.2 RAPPEL DES ESSAIS	65

<i>5.3 VARIABILITE INITIALE DU MILIEU D'ETUDE</i>	66
5.3.1 Les sols	66
5.3.2 Les fumiers	68
5.3.3 Déroulement de la campagne	71
5.3.4 La production végétale	72
5.3.5 Les caractéristiques biologiques des sols	73
5.3.5.1 Nitrification nette in situ (Nit _{nt}) (Figures 31 et 32)	73
5.3.5.2 Nitrification nette potentielle (Figures 33 et 34)	74
5.3.5.3 Biomasse microbienne (Figures 35 et 36)	75
5.3.6 Liaisons entre toutes les variables étudiées	76
<i>5.4 EFFET DE L'APPORT DE FUMIER</i>	77
5.4.1 Les caractéristiques physico-chimiques des sols	77
5.4.2 La production végétale	77
5.4.3 Les caractéristiques biologiques des sols	78
5.4.3.1 Nitrification nette in situ (Figure 39)	78
5.4.3.2 Nitrification nette potentielle (Figure 40)	78
5.4.3.3 Biomasse microbienne (Figure 41)	79
<i>5.5 CONSTITUTION DE GROUPES ET TYPOLOGIE DES DIVERS COMPORTEMENTS BIOLOGIQUES DES SOLS</i>	80
5.5.1 Groupes constitués à partir de la caractérisation biologique des parcelles	81
5.5.1.1 A Nioro	81
5.5.1.2 A Bambey	82
5.5.2 Groupes constitués à partir de la caractérisation des fumiers épandus	82
5.5.2.1 A Nioro	82
5.5.2.2 A Bambey	83
5.5.3 Groupes constitués à partir de la caractérisation physico-chimique des sols	83
5.5.3.1 A Nioro	83
5.5.3.2 A Bambey	84
5.5.4 Groupes constitués sur les données de production végétale	85
5.5.4.1 A Nioro	85
5.5.4.2 A Bambey	85
<i>5.6 DISCUSSION</i>	88
<i>5.7 CONCLUSION</i>	90
6. CONCLUSION GENERALE	91
7. DISCUSSION GENERALE	95
Bibliographie	97
Annexes	

INTRODUCTION

1 INTRODUCTION

Atteindre l'autosuffisance alimentaire reste, encore de nos jours, un objectif lointain pour l'ensemble des pays de la zone soudano-sahélienne. Cette impuissance à satisfaire les besoins nutritionnels, ne serait-ce que quantitatifs, d'une population en constant accroissement, résulte de la forte interaction de deux facteurs, l'un circonstanciel et naturel (phase de raréfaction et de répartition défectueuse des pluies), l'autre structurel et humain résultant de causes anciennes et à effet cumulatif telle la dégradation continue des sols qui découle en grande partie de la suppression des jachères dans un contexte où la simple compensation des exportations d'éléments minéraux par la fertilisation devient de plus en plus problématique. Il en découle que le déclin de la fertilité des sols est actuellement identifié comme étant la contrainte majeure à la production agricole à petite échelle en Afrique (Kumwenda *et al.*, 1996 et Swift, 1996 cités par Swift, 1998).

La Recherche s'est, depuis longtemps, attachée à identifier les cause et à proposer des solutions à l'inexorable dégradation de la fertilité des terres de savane d'Afrique de l'Ouest. Nous en voulons pour preuve l'imposante masse d'informations accumulée depuis les années 60 et qui a fait l'objet de nombreuses synthèses. Parmi celles-ci, Charreau et Nicou (1971), Greenland (1975), Pieri (1991), Sanchez et Logan (1992) et Pieri (1995) ont clairement montré que l'amélioration de la fertilité du sol est une solution incontournable, à long terme, à ce problème. Pieri (1991) a souligné la nécessité de dépasser la relation « technique \Rightarrow rendement » et de prendre en compte la modification du milieu créée par la technique ainsi que les répercussions des états du milieu sur les rendements et ses composantes pour en venir au schéma d'analyse « technique*états du milieu \Rightarrow rendement ».

La fertilité d'un sol ne saurait donc plus être approchée selon un aspect purement chimique, physique ou encore en termes de rendement, mais comme un système complexe où toutes ces variables, auxquelles il faut à présent ajouter la composante biologique rendue accessible grâce à l'émergence de nouveaux outils méthodologiques, interagissent toutes entre elles et peuvent être influencées par les pratiques culturelles et le milieu naturel.

Dans le contexte sahélien, la régénération de la fertilité d'un sol doit passer par l'amélioration de son statut organique ; en effet, la matière organique, pilier de la fertilité tant chimique que physique des sols, est également le substrat de l'activité biologique de ces sols. Ces processus biologiques de régulation permettent aux sols ferrugineux et ferrallitiques, pourtant chimiquement et physiquement défavorisés, d'obtenir des niveaux de production relativement élevés en compensant ces handicaps apparents, ainsi que l'on souligné Lavelle (1990) et Pieri (1991). Cette assertion constitue notre hypothèse majeure de travail qui sera axé sur la biomasse microbienne. En effet, la biomasse microbienne, compartiment actif de la matière organique du sol et responsable d'une part considérable de ces processus biologiques, est le principal moteur de la transformation et de la minéralisation de la matière organique du sol, jouant par-là même un rôle de premier plan dans la disponibilité des nutriments, facteur essentiel de la production végétale (Marumoto, 1984 ; McGill *et al.*, 1986 ; Franzluebbers *et al.*, 1994 ; Smith, 1994). Bien que les variables biologiques mesurables du sol soient très nombreuses, le caractère intégrateur de la biomasse microbienne et sa réactivité à court et moyen terme aux modifications du milieu en font un indicateur privilégié de l'évolution de la matière organique du sol consécutive à des changements de pratiques culturales (Insam *et al.*, 1989 ; Powlson *et al.*, 1987 ; Chaussod, 1996).

Notre étude tentera donc de rendre compte de l'effet de pratiques culturales, notamment des apports de matière organique de type fumiers et composts, sur l'état global de fertilité d'un sol en s'appuyant principalement sur ses variables chimiques et biologiques, ainsi que sur sa production végétale globale. Il s'agira également de rechercher les relations entre ces différentes composantes de la fertilité afin de mieux comprendre le fonctionnement de ce système sol-plante et sa réponse aux facteurs extérieurs.

Pour ce faire, notre analyse portera, dans un premier temps, sur un nombre réduit d'essais annuels et de longue durée en station puis, dans un second temps, s'élargira au milieu paysan dans une tentative d'approche spatiale utilisant la variabilité propre à ce milieu d'étude.

- le mois d'août est toujours le plus pluvieux,
- la fin de l'hivernage est marquée par un arrêt soudain des précipitations au cours de la première quinzaine d'octobre,
- les variations inter- et intra-annuelles sont très importantes et influencent largement les résultats d'une campagne agricole. A cette forte variabilité temporelle s'ajoute également une très forte variabilité locale des précipitations due à leur caractère orageux.

Avant de clore ce paragraphe, on rappellera tout de même que la situation qui vient d'être décrite a beaucoup évolué depuis les années 60 (voir carte 2). Depuis la période 1960-1980, la situation s'est dégradée avec un glissement des isohyètes de plus de 120 km vers le sud (FAO/AQUASTAT, 1999). A titre d'exemple, on est passé à Dakar de 600 à 400 mm an⁻¹ pendant cette période.

2.1.2.2 *Températures*

Les températures moyennes oscillent entre 16°C et 34°C, la moyenne annuelle se situant aux alentours de 27.5°C. On peut distinguer quatre périodes :

- l'hivernage (juillet à septembre), caractérisé par une moyenne relativement basse et une faible amplitude journalière associée à une forte hygrométrie,
- une courte saison sèche « chaude » (octobre) correspondant à l'arrêt des pluies et, au plan agricole, à la maturation des grains,
- une saison sèche « fraîche » (novembre à mars), à très faible hygrométrie et températures nocturnes basses (15 à 20 °C),
- une saison sèche « chaude » (avril à juin) caractérisée par des températures diurnes et nocturnes élevées (respectivement 35-40°C le jour et 21-28°C la nuit) et, occasionnellement, de forts vents de sable.

2.1.2.3 *Demande évaporative*

Elle connaît également de fortes variations saisonnières, allant de :

- 2-3 mm j⁻¹ en hivernage à 11 mm j⁻¹ en saison sèche dans le cas de l'évaporation Piche à Bambey (de 5 à 13 mm j⁻¹ aux mêmes périodes en bacs de classe A),
- 1-3 mm j⁻¹ en hivernage à 10 mm j⁻¹ en saison sèche dans le cas de l'évaporation Piche à Nioro (de 4 à 11 mm j⁻¹ aux mêmes périodes en bacs de classe A),

Tableau I : les grands types de sols du Sénégal (d'après Maignien, 1965)

Types de sols		Roches mères	Position topographique	Caractéristiques
Sols ferrugineux tropicaux lessivés	Sols « dior » sur dunes de sable	Sables dunaires	Sols formés sur dunes de sable de topographie plane	- Sols très sableux : 2 à 4% d'argile ; très profonds, lessivés en fer ; matière organique à faible teneur et mélangée dans le profil ; très perméables -Sols légers
Intergrade sols ferrugineux et sols vertiques	Sols « dek »	Marnes Grès calcaires Grès argileux	En position dépressionnaire (marigots, anciens bras de cours d'eau)	- Sols sableux, plus argileux : 3 à 8% d'argile ; plus lourds et mieux structurés que les « dior » - Horizon humifère bien marqué - Présence de montmorillonite
Sols rouges ferrugineux tropicaux lessivés sur roches et colluvions du Continental terminal	Sols rouges typiques	Grès argileux du Continental terminal	Sur relief à profil convexe, systèmes de plateaux interfluves...	- Faiblement argileux en surface (8 à 12%) ils deviennent très argileux en profondeur jusqu'à 50% d'argile ; la différenciation des horizons pédologiques est faible et peu apparente - Sols profonds
Sols rouges ferrugineux tropicaux lessivés sur roches et colluvions du Continental terminal	Sols rouges lessivés à taches et concrétions	Grès argileux du Continental terminal	Sur plateaux	- Sols moins profonds, plus lessivés que les sols rouges typiques ; présence de traces de remaniement (débris poterie, charbon, morceaux de cuirasse démantelée)
Sols beiges ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions	Sols « beiges » de plateau	Matériau du Continental	Localisés sur versants et zones de raccordement	Variations latérales portant sur les horizons A et AB sur une toposéquence ; ces sols sont intermédiaires entre les sols rouges et les beiges
Sols beiges ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions	Sols « beiges » de plateau	Matériau du Continental	Localisés sur les plateaux où le réseau hydrographique est discontinu et rare. Topographie plane (bas plateaux)	-Horizons bien différenciés argileux, plus de 50% d'argile en profondeur. Lessivage important (taches et concrétions). Représentent le terme ultime du lessivage en sols ferrugineux tropicaux -Tendance à l'hydromorphie
Sols vertiques	« Argiles noires »	Affleurement de marnes à attapulgate et formations marno-calcaires	Ouest du Sénégal ; notamment presqu'île du Cap-Vert et plateau de Bargny	Epaisseur moyenne de 80 à 100 cm. Riches en argile (40 à 70% de montmorillonite presque pure). Pauvre en matière organique
Sols sulfatés acides et « tann »		Formés sur d'anciennes vasières	Littoral sud du Sénégal depuis la Petite Côte jusqu'en Casamance	- Population caractéristique de mangrove - Sols salés à alcalis
Sols « holalde »		Alluvions fluviales	Le long de la vallée des fleuves	Sols à caractéristiques vertiques
Cuirasses ferrugineuses		Grès argileux Roches granitiques Roches volcaniques	- Le sommet des plateaux - Le long des axes de drainage	Surface d'érosion très étendue impropre à la culture et irréversible

2.1.3 Les sols

Selon Maignien (1965), les sols de la zone septentrionale du Sénégal sont issus de sables dunaires : sols ferrugineux tropicaux peu lessivés, ils sont localement dénommés « sols dior ». En position dépressionnaire (marigots ou anciens cours d'eau), ils s'enrichissent en argiles (montmorillonite notamment) et présentent une tendance vertique, on parle alors de « sols dek ». Plus au sud, les sols reposent sur un vaste plateau de grès argileux hérités de l'ère Tertiaire dénommé Continental terminal (Tableau I).

Ces sols évoluent progressivement du nord au sud, en fonction de la pluviosité, depuis les sols ferrugineux non lessivés, dits « sols dior », dans le Nord Bassin Arachidier, aux sols ferrugineux lessivés dans le Sud Bassin Arachidier pour terminer par les sols ferrallitiques de la Basse Casamance, à l'extrémité sud-ouest du pays. Cette évolution nord-sud correspond à une altération croissante due aux conditions climatiques plus humides, la topographie n'étant pas un facteur important de cette évolution eu égard à la quasi absence de relief (à l'exception de l'extrême sud-est du pays).

Les sols du Sénégal sont, de façon générale, sableux à très sableux et leur fraction argileuse est essentiellement constituée de kaolinite. Si l'on y associe une très faible teneur en matière organique, on obtient des sols peu stables, avec une capacité de rétention d'eau et une teneur en phosphore assimilable (souvent inférieure à 10 mg kg^{-1}) faibles et un complexe absorbant très pauvre.

2.1.4 La végétation

A l'image des sols, le facteur essentiel de l'évolution du paysage et de sa végétation est le climat. Du nord au sud, on observe trois grands domaines qui se succèdent de façon progressive :

- le domaine sahélien : une savane arborée, clairsemée au nord, où dominent des épineux tels les acacias (*Acacia radiana*, *Acacia senegalensis*, *Acacia seyal* et *Acacia albida*) et les soumps (*Balanites aegyptiaca*) mais également les baobabs à proximité des villages (*Adansonia digitata*) et les jujubiers (*Zizyphus mauritiana*).
- le domaine soudanien : une savane boisée peuplée d'arbres plus imposants tels le caïlcedrat (*Khaya senegalensis*), le vèn (*Pterocarpus erinaceus*) et le néré (*Parkia biglobosa*).

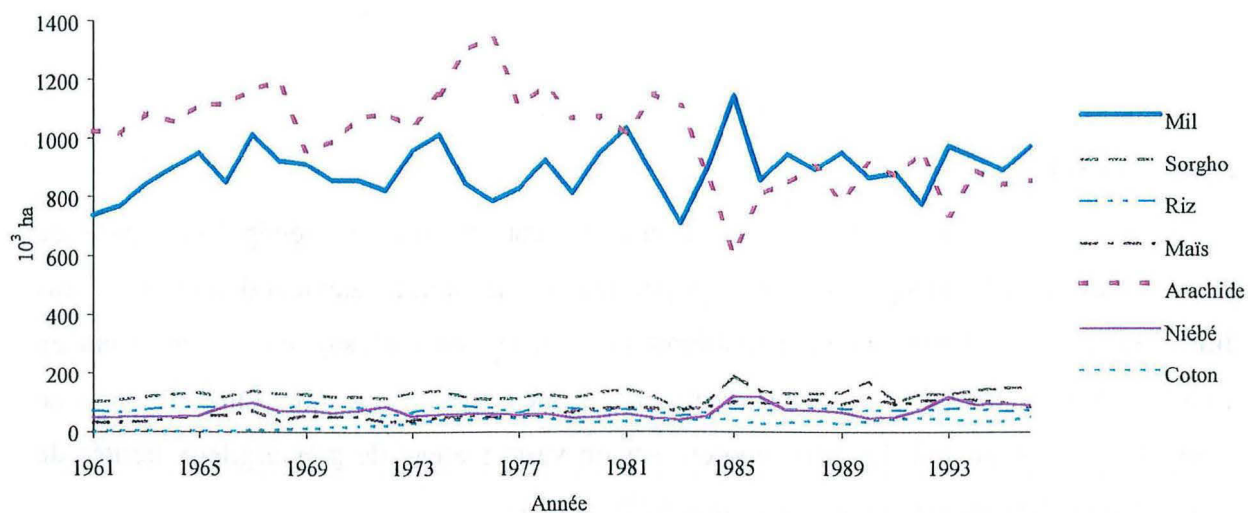


Figure 1a : Superficies cultivées (en milliers d'hectares) pour les principales cultures du Sénégal de 1961 à 1996. (Données : FAOSTAT, 1999)

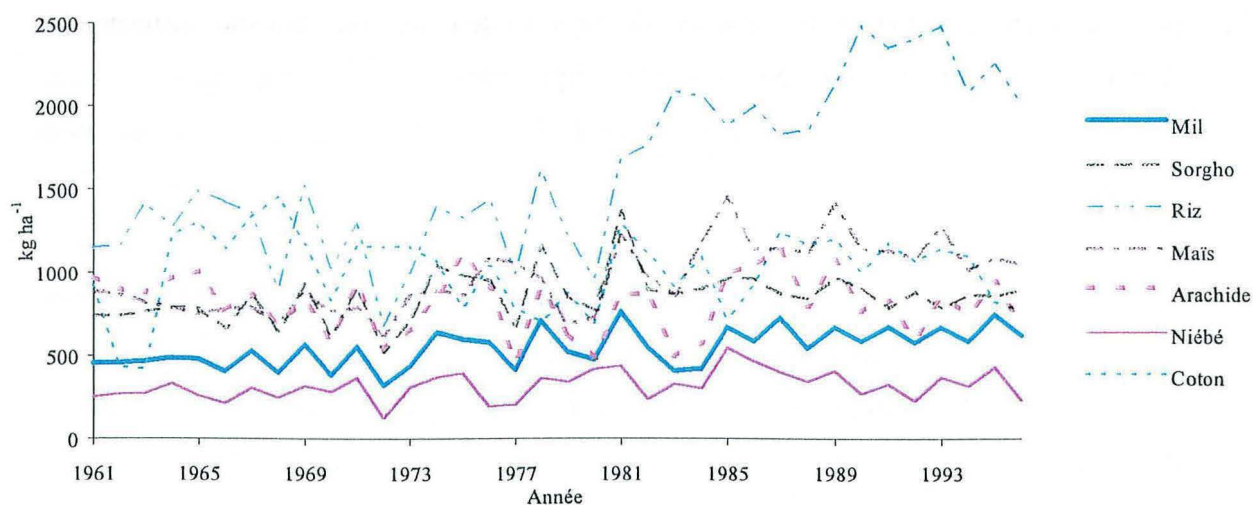


Figure 1b : Evolution des rendements moyens (en kg ha⁻¹) pour les principales cultures du Sénégal de 1961 à 1996. (Données : FAOSTAT, 1999)

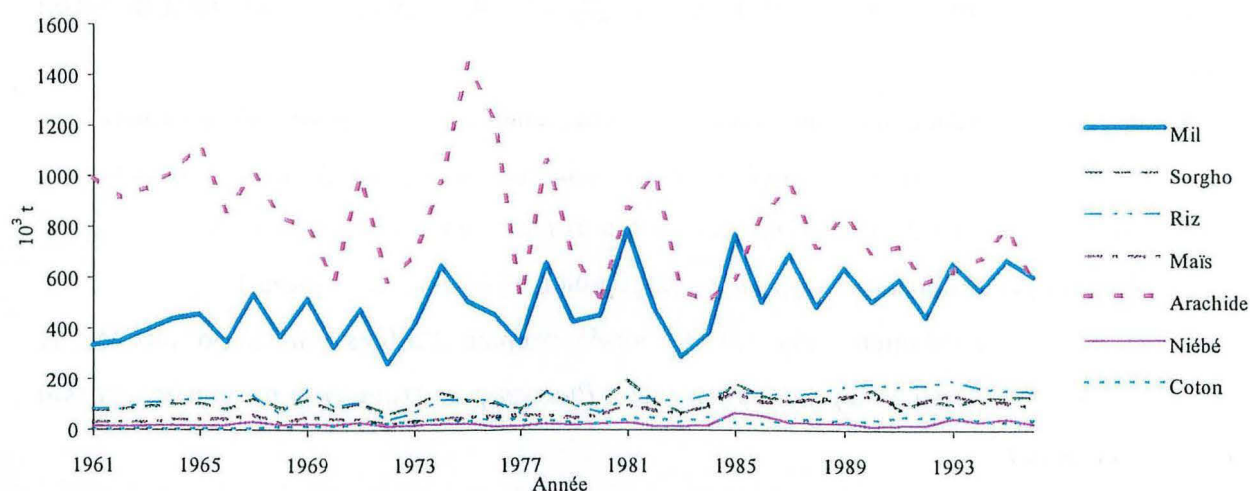


Figure 1c: Production nationale (en milliers de tonnes) pour les principales cultures du Sénégal de 1961 à 1996. (Données : FAOSTAT, 1999)

- le domaine guinéen, limité à la Basse Casamance où cohabitent mampatans (*Parinari excelsa*), irokos (*Chlorophora regia*) et palmiers à huile (*Elaeis guineensis*).

Certains biotopes particuliers (zones inondables, dépressions interdunaires, estuaires) sont colonisés par une végétation spécifique (ex : palétuviers (*Rhizophora racemosa*) dans les mangroves des estuaires du Saloum et de la Casamance).

2.2 LA SITUATION AGRICOLE AU SENEGAL

2.2.1 Généralités

Le secteur agricole, et notamment la production arachidière, est un maillon essentiel de l'économie sénégalaise, à l'instar du tourisme, de la pêche et de la production de phosphates naturels. Sur les 8 millions d'hectares à vocation agricole, on estime à 5.7 millions d'hectares la superficie des prairies et pâturages permanents et à 2.3 millions la superficie des terres arables disponibles, et effectivement cultivées (FAO/FAOSTAT, 1998), pour l'essentiel en mil (*Pennisetum typhoides*), arachide (*Arachis hypogaea*), riz (*Oryza sativa*), maïs (*Zea maïs*), sorgho (*Sorghum bicolor*), niébé (*Vigna unguiculata*) et cotonnier (*Gossypium hirsutum*). On peut distinguer cinq zones écologiques (et leurs cultures respectives) :

- le bassin arachidier : mil, arachide, maïs (dans le sud uniquement) et également sorgho et niébé semés le plus souvent en cas d'échec des semis des trois premières cultures citées,
- les périmètres irrigués du delta et de la vallée du fleuve Sénégal : riz, sorgho, maïs et tomate,
- les cultures pluviales de la vallée du fleuve Sénégal : mil, sorgho, niébé et arachide,
- le centre du Sénégal-Oriental : mil, arachide, cotonnier, maïs et sorgho,
- la Casamance : riz pluvial et riz de nappe, mil, maïs, sorgho, arachide et cotonnier.

Dans toutes ces zones (à l'exception de la Casamance qui est la région la plus favorisée d'un point de vue climatique permettant la culture du riz sans irrigation complémentaire), on remarque la position prédominante du mil et de l'arachide (Figure 1a) qui forment une rotation céréale/légumineuse très fréquemment mise en œuvre. En effet, le mil constitue, avec le riz (massivement importé), la base de l'alimentation sénégalaise et est

en grande partie autoconsommé alors que l'arachide est une culture de rente essentielle pour le paysannat. Par ailleurs, la recherche agronomique a sélectionné de nombreuses variétés adaptées à ces différentes zones écologiques, permettant leur implantation sur tous les domaines cultivés.

2.2.2 Evolution de la production agricole

La production agricole repose, en termes de superficies cultivées comme en termes de tonnage national (Figure 1c), à 83% en moyenne sur le mil et l'arachide. Si, avant le début des années 80, l'arachide prédominait encore sur le mil, on constate depuis cette date une tendance marquée à la réduction des écarts. Pour les autres cultures, les surfaces et tonnages sont peu variables d'une année sur l'autre. On notera seulement l'introduction de la culture du cotonnier au début des années 70. Les niveaux de rendements (Figure 1b) sont faibles et présentent une forte variabilité interannuelle, l'agriculture sénégalaise étant essentiellement de type pluvial. Les rendements moyens sur la période 1961-1996 figurent au Tableau II.

Tableau II : Rendements moyens des principales cultures du Sénégal sur la période 1961-1996 (FAO/FAOSTAT, 1999)

Culture	mil	arachide (gousses)	sorgho	riz	maïs	niébé	coton graine
Rendement moyen (kg ha ⁻¹)	550	815	555	1610	970	320	1010

Les rendements les plus élevés regroupent les cultures des zones les plus humides (riz, coton et maïs). Si l'on fait abstraction de la variabilité inter-annuelle des rendements, on constate qu'à l'exception du riz, qui présente une augmentation très nette des rendements depuis 1981, passant sans transition d'un rendement moyen de 1230 kg ha⁻¹ jusqu'en 1980 à 2084 kg ha⁻¹ (développement de l'irrigation, notamment dans la vallée du fleuve Sénégal), les rendements ne montrent pas de tendance à l'accroissement. De même, la superficie des terres arables cultivées reste stable (en 1961 la totalité des terres arables était déjà cultivée). De plus, on observe une forte baisse du taux d'autosuffisance alimentaire (céréales, tubercules et légumineuses confondus) qui est passé de 138% pour la période 1961-63 à 79% pour la période 1988-90 (FAO/SMIAR, 1997), affectant toutes les catégories de produits (notamment les céréales : 55% pour la période 1988-90) à l'exception des légumineuses. Ce déficit est compensé par des importations massives de riz et par l'aide alimentaire, essentiellement constituée de riz et de blé. L'espace agricole étant saturé, seule une augmentation de la productivité peut permettre un rétablissement de l'autosuffisance alimentaire. Toutefois, cet

accroissement de la productivité ne pourra être obtenu sans une meilleure gestion des ressources naturelles locales au sens large du terme, les engrais, et plus encore les pesticides, étant financièrement inabordables pour la très grande majorité du paysannat sénégalais.

CHAPITRE 3

MATERIEL ET METHODES

3.1 SITES D'EXPERIMENTATION	11
3.1.1 Introduction	11
3.1.2 Les essais en station	11
3.1.2.1 L'essai « courbe de réponse à la matière organique » (RMO)	11
3.1.2.1.1 Ses objectifs	11
3.1.2.1.2 Le dispositif (Figure 2)	12
3.1.2.1.3 Choix des traitements	13
3.1.2.1.4 Modalités des prélèvements de sol et traitement des récoltes	13
3.1.2.2 L'essai RMO annuel	15
3.1.2.2.1 Son objectif	15
3.1.2.2.2 Le dispositif (Figure 3)	16
3.1.2.2.3 Modalités des prélèvements de sol et traitement de la récolte	16
3.1.2.3 L'essai « Travail du sol*compost »	17
3.1.2.3.1 Ses objectifs	17
3.1.2.3.2 Le dispositif (Figure 4)	18
3.1.2.3.3 Choix des traitements et modalités des prélèvements de sol	19
3.1.3 L'essai multilocal en milieu paysan	20
3.1.3.1 Son objectif	20
3.1.3.2 Le dispositif	21
3.1.3.3 Modalités des prélèvements de sol	22
3.1.3.4 Les plantes	23
3.2 METHODES	23
3.2.1 Caractérisation physico-chimique des sols	23
3.2.2 Caractérisation biologique des sols	24
3.2.2.1 Quantification de la biomasse microbienne	25
3.2.2.2 Détermination de la nitrification in situ	28
3.2.2.3 Détermination de la nitrification nette potentielle	30
3.2.3 Analyses des plantes récoltées et des fumiers	30

3 MATERIEL ET METHODES

3.1 SITES D'EXPERIMENTATION

3.1.1 Introduction

Les essais au champ ont porté sur deux années. La première année (1996) a été consacrée au suivi d'essais de longue durée, en station, situés dans le Nord et le Sud Bassin Arachidier (Bambey et Thyssé Kaymor, près de Nioro) qui ont fait l'objet d'un suivi intensif lors de la saison culturale mais aussi lors de la longue saison sèche qui a suivie, jusqu'au démarrage de la campagne suivante. Ces essais avaient pour objectif de comprendre, à l'échelle d'une année entière plutôt que d'un seul hivernage, le fonctionnement biologique de ces sols. La deuxième année (1997) a, pour l'essentiel, été consacrée à un suivi réduit (en termes de variables choisies et de durée) mais élargi (en termes de variabilité spatiale), de cinquante parcelles en milieu paysan (25 dans la zone nord et 25 dans la zone sud). Ce suivi a, cette fois-ci, été limité à la seule saison culturale, l'objectif étant de définir des typologies de comportement des sols, sur la base de critères biologiques, afin de comprendre la variabilité de la réponse d'un sol et d'une culture de mil à la fumure organique (fumier) en milieu paysan.

3.1.2 Les essais en station

3.1.2.1 L'essai « courbe de réponse à la matière organique » (RMO pérenne)

3.1.2.1.1 Ses objectifs

Cet essai pluriannuel (appelé aussi RMO pérenne) a été mis en place en 1992 par Badiane (1997) sur un sol Dior de la station agronomique régionale de Bambey (Nord Bassin Arachidier). Lors de son implantation, l'essai avait pour objet l'étude, dans les conditions agro-écologiques de la zone Nord du Bassin Arachidier, de l'effet à moyen terme d'un apport, sur le mil, de faibles doses de matière organique d'origine mixte (animale et végétale), fumier d'étable

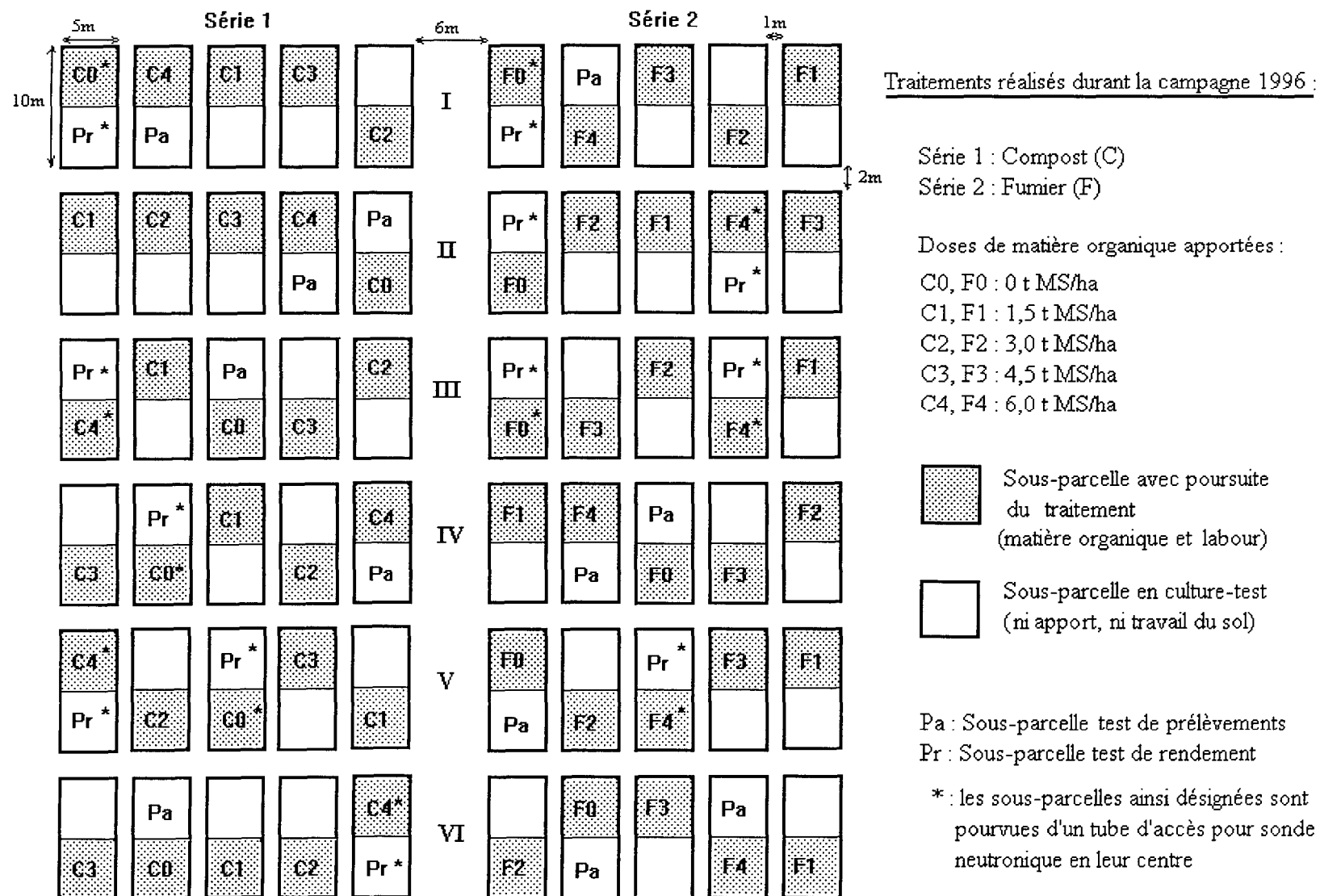


Figure 2 : Plan de l'essai RMO pérenne, Bambeï 1992-1997.

bovine ou compost de paille de mil, associées à une faible fumure minérale, sur les rendements du mil et de l'arachide en rotation biennale. Les doses de matière organique apportées avaient été choisies de manière à « encadrer », pour les tester, les recommandations des services de vulgarisation qui préconisent un apport de matière organique de 3 t MS ha⁻¹ 2ans⁻¹ pour une rotation biennale mil-arachide (la matière organique est apportée sur la céréale, le mil en l'occurrence, l'arachide ne bénéficiant que des arrière-effets de cet apport).

A partir de la campagne 1996, nous avons étudié les arrière-effets (ou effets résiduels) des quatre années de traitements déjà réalisées (1992-1995). Pour ce faire, nous avons subdivisé les parcelles en deux. La première sous-parcelle permettant la poursuite du traitement initial et le cumul des effets de trois rotations complètes (1992-1997), la seconde destinée à l'évaluation des effets résiduels de deux rotations (1992-1995) à l'échelle d'une rotation mil-arachide complète (1996-1997).

3.1.2.1.2 Le dispositif (Figure 2)

La parcelle, d'une surface de 0.45 ha (70 m * 64 m), est divisée en deux séries parallèles, une série « compost » et une série « fumier », comportant chacune six blocs de cinq traitements. Les traitements appliqués (voir dénominations au Tableau III) correspondent à l'apport de l'une ou de l'autre des deux formes de matière organique, testées chacune à cinq doses différentes (0, 1.5, 3, 4.5 et 6 t MS ha⁻¹ 2ans⁻¹). Un labour aux boeufs (profondeur 15 cm), effectué annuellement, permet l'enfouissement de cette matière organique et d'une fumure minérale « starter » (150 kg ha⁻¹ de 14-7-7 pour le mil, 150 kg ha⁻¹ de 8-18-27 pour l'arachide soit un équivalent, pour le mil de 21 kg N, 4.6 kg P, 8.7 kg K, et pour l'arachide 12 kg N, 11.9 kg P et 33.6 kg K).

Tableau III : Codification des traitements de l'essai « courbe de Réponse à la Matière Organique » (RMO) - Bambey 1992-1997.

Série	Dose de matière organique apportée (t MS ha ⁻¹ 2ans ⁻¹)				
	0	1.5	3	4.5	6
Compost	C0	C1	C2	C3	C4
Fumier	F0	F1	F2	F3	F4

Les traitements C0 et F0 sont rigoureusement identiques ; toutefois, les autres traitements appartenant à des séries distinctes, bien que très proches, il est nécessaire de conserver leurs témoins respectifs.

L'essai comprend donc soixante parcelles de 50 m² (5 m * 10 m ; surface utile : 36 m² soit 4 m * 9 m). La particularité de ces campagnes 1996-97 a été, rappelons-le, de subdiviser chaque parcelle de l'essai en deux sous-parcelles de 25 m² (5 m * 5 m ; surface utile : 16 m² soit 4 m * 4 m) : la première assure la continuité des traitements en place depuis 1992, la seconde devient une sous-parcelle test mais ne bénéficiant d'aucun apport (ni matière organique, ni engrais) ni d'aucun travail du sol. Ainsi, les effets cumulés de trois rotations ont été testés (trois apports de matière organique en 1992, 94 et 96) sur les placettes où le traitement initial était maintenu, ainsi que les effets résiduels cumulés des deux premiers apports de matière organique (deux apports de matière organique en 1992 et 94) sur la troisième rotation-test (placettes mises en test en 1996). La position des parcelles et sous-parcelles a été déterminée de façon aléatoire.

L'essai a été semé en mil, variété Souna III (cycle de 90 j, semé à 1m * 1m, démariage à 3 pieds 10 j après le semis) les années 1992, 94 et 96, et en arachide, variété 55-437 (cycle de 90 j, semée à 0.45m * 0.15m), les années 1993, 95 et 97. Le mil Souna III et l'arachide 55-437 sont les variétés de référence de cette zone.

Les binages sont effectués à la demande.

La pluviométrie est relevée quotidiennement par la station météorologique de Bambey.

3.1.2.1.3 Choix des traitements

Afin d'obtenir des résultats aussi contrastés que possible sur les analyses de sol (s'agissant d'effets résiduels), les prélèvements n'ont porté que sur les traitements extrêmes soit les doses 0 et 6 t MS ha⁻¹ 2ans⁻¹ (C0, C4, F0 et F4 soit vingt-quatre parcelles avant subdivision).

3.1.2.1.4 Modalités des prélèvements de sol et traitement des récoltes

A chaque changement de saison (i.e. avant et après l'hivernage, en 1996 et 1997), des prélèvements destinés à la caractérisation physico-chimique classique des sols ont été réalisés sur six horizons (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-80 cm et 80-120 cm) pour les

vingt-quatre parcelles avant la campagne 1996 (juin 1996), et sur les quatre premiers horizons (jusqu'à 40 cm) des quarante-huit sous-parcelles en décembre 1996, juin 1997 et décembre 1997.

Pour le suivi périodique des variables biologiques du sol, nous avons choisi les horizons 0-10 et 20-30 cm pour privilégier le contraste entre l'horizon amendé et labouré (0-10 cm) et un horizon proche de la surface mais non affecté directement par la mise en œuvre des traitements (20-30 cm). Ce suivi a été effectué uniquement sur les placettes « test » en 1996. Lors de la campagne 1997, il a également été réalisé sur les placettes adjacentes (« continu ») qui correspondent à la poursuite normale du traitement. Par ailleurs, le nombre de prélèvements prévus en 1996 étant très élevé pour ces sous-parcelles de surface réduite (14 dates au total), nous avons décidé de ne les réaliser que sur trois blocs tirés au sort (sous-parcelles Pa sur le plan) afin de préserver les trois autres blocs intacts (sous-parcelles Pr sur le plan) pour la campagne 1997. On fait l'hypothèse que les trois blocs tirés au sort sont représentatifs des six blocs de l'essai. Une analyse *a posteriori* des caractéristiques physico-chimiques des sols et des rendements de la campagne (voir § 4.2.1.1.2) nous a permis de confirmer cette hypothèse.

Pour chaque prélèvement de début ou fin de saison, l'échantillon final est constitué de six carottes de sol prélevées de manière à balayer l'ensemble de la parcelle. Pour les prélèvements réalisés tout au long de l'année, les six carottes également prélevées proviennent de positions prédéfinies sur six lignes, situées dans les interlignes, et tirées au sort entre les différentes dates, à la manière d'un tirage sans remise par ligne, sachant que chacune des carottes provient nécessairement d'une ligne de prélèvement différente. Ces prélèvements ont été réalisés aux stades (et dates) :

Campagne 1996 (mil)

- semis (25 juillet 1996) et semis+7j,
- début montaison (23 août 1996) et début montaison + 7j,
- fin montaison-début épiaison (27 septembre 1996) et fin montaison-début épiaison +7j,
- récolte (1^{er} novembre 1996) et récolte + 7j,
- puis toutes les quatre semaines jusqu'au 31 mai 1997.

- l'effet cumulatif de trois apports de matière organique (1992, 94 et 96),
- l'effet résiduel de deux apports de matière organique (1992 et 94),
- l'effet direct seul dans le cas de l'essai RMO annuel.

Les deux premiers effets sont obtenus sur l'essai RMO pérenne où l'effet cumulatif représente la somme des effets résiduels des deux premiers apports et de l'effet direct du troisième apport.

3.1.2.2.2 Le dispositif (Figure 3)

Cet essai comporte également six blocs et quatre traitements qui sont :

- T0 : le témoin absolu : ni matière organique, ni engrais starter, ni labour ce qui, finalement, correspond à la pratique paysanne.
- T1 : le témoin sans matière organique, ne comporte que l'apport d'engrais défini sur l'essai principal (150 kg ha⁻¹ de 14-7-7 sur le mil) associé à un labour aux boeufs. Ce traitement équivaut à C0 et F0.
- C4 : identique au traitement du même nom de l'essai principal (labour aux boeufs enfouissant 150 kg ha⁻¹ de 14-7-7 et 6 t MS ha⁻¹ de compost sur le mil),
- F4 : identique au traitement du même nom de l'essai principal (labour aux boeufs enfouissant 150 kg ha⁻¹ de 14-7-7 et 6 t MS ha⁻¹ de fumier sur le mil),

La superficie de ces parcelles est de 50 m² (10m * 5 m, surface utile 32 m² : 8m * 4 m).

Les opérations culturales (binages, traitements phytosanitaires) sont effectués si nécessaire.

3.1.2.2.3 Modalités des prélèvements de sol et traitement de la récolte

Les prélèvements de début et fin de saison ont déjà été décrits dans le § 3.1.2.1.3. Les modalités d'échantillonnage sont identiques à celles de l'essai RMO pérenne.

Pour cet essai RMO annuel, les stades de prélèvements sont :

- premier semis (10 juillet 1997) et premier semis + 7j,
- début montaison (22 septembre 1997) et début montaison + 7j,
- fin montaison-début épiaison (9 octobre 1997) et fin montaison-début épiaison + 7j,
- post-récolte (2 semaines après la récolte soit le 28 novembre 1997) et post-récolte + 7j.

Campagne 1997 (arachide)

- semis (11 juillet 1997) et semis + 7j,
- floraison (22 septembre 1997) et floraison + 7j,
- émission des gynophores (9 octobre 1997) et émission des gynophores + 7j,
- post-récolte (2 semaines après la récolte soit le 18 novembre 1997) et post-récolte + 7j.

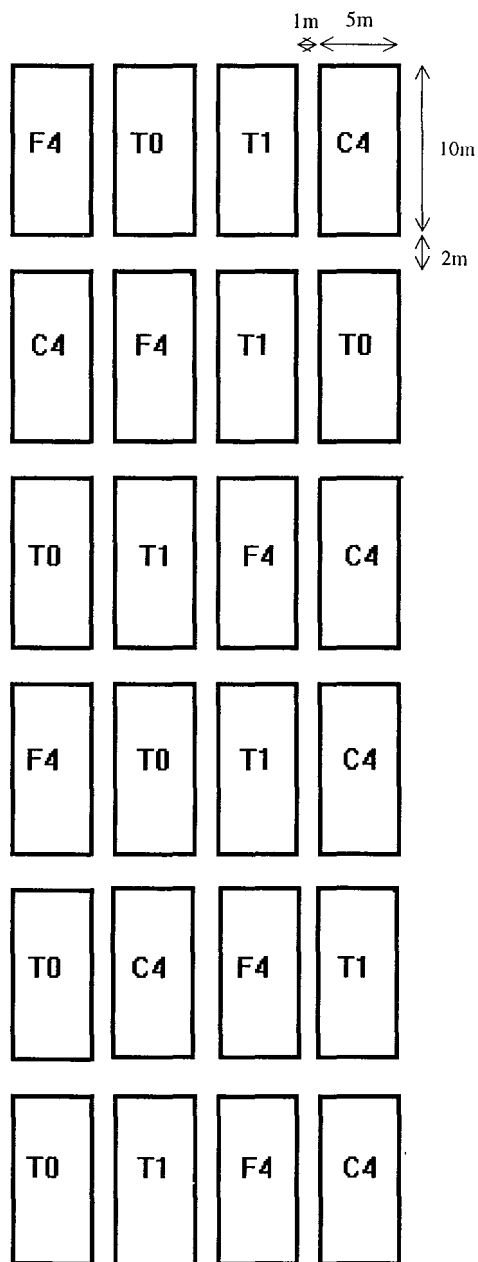
Ces prélèvements sont destinés à la quantification de la biomasse microbienne des horizons 0-10 et 20-30 cm, et, sur l'horizon 0-10 cm uniquement, à la détermination de la minéralisation nette de l'azote *in situ* en 7j et au dénombrement des nématodes phytoparasites (1996 uniquement).

Le traitement des récoltes a été réalisé sur toutes les placettes de l'essai (120 au total, tous les traitements et toutes les sous-parcelles étant pris en compte). Pour le mil (1996), la densité à la récolte a été notée, ainsi que le nombre total d'épis. Puis la récolte a été séparée en trois fractions (tiges + feuilles, rachis + glumes, grains) et le poids de 1000 grains déterminé. Ces parties ont été pesées, leur humidité déterminée par séchage à 70°C, et ont finalement été broyées pour analyse, afin de quantifier les exportations minérales de la culture. Pour l'arachide (1997), on a déterminé le poids sec de fanes (tiges + feuilles par séchage à l'étuve à 70°C) d'une part et le poids sec de gousses (coques + graines) d'autre part. Les gousses n'ont été décortiquées que pour les placettes sur lesquelles les prélèvements de sol avaient été effectués, soit les traitements C0, F0, C4 et F4 (placettes « test » et placettes « continu »).

3.1.2.2 L'essai RMO annuel

3.1.2.2.1 Son objectif

Cet essai, parallèle à l'essai RMO pérenne, a été mis en place après une jachère de quinze ans (la même jachère, mais plus âgée de cinq ans, que celle existant avant la mise en place de l'essai RMO pérenne, car ces deux essais ne sont séparés que de quelques mètres) afin de tester les effets directs d'un premier apport de matière organique sur les variables biologiques du sol et la culture de mil Souna III implantée. Ainsi, la combinaison de ces deux essais nous permet de distinguer :



Définition des traitements :

T0 : pas de travail du sol, ni d'apport de matière organique ou d'engrais (pratique paysanne),

T1 : 150 kg ha⁻¹ de 14-7-7 sur le mil et labour aux boeufs,

C4 : 150 kg ha⁻¹ de 14-7-7 sur le mil, 6 t MS ha⁻¹ 2ans⁻¹ de compost et labour aux boeufs,

F4 : 150 kg ha⁻¹ de 14-7-7 sur le mil, 6 t MS ha⁻¹ 2ans⁻¹ de fumier et labour aux boeufs,

Figure 3 : Dispositif de l'essai RMO annuel mis en place pour la campagne 1997

L'expression « premier semis » n'est pas fortuite. En effet, les quatre premiers semis ont été détruits par deux générations de sauteriaux (*Oedaleus senegalensis*, adultes les deux premières fois, larves pour les deux dernières). C'est donc le cinquième semis (19 août 1997) qui a permis de mener l'essai à terme, ce qui explique également cet écart entre les premiers prélèvements. De plus, les semis 2 et 3 ont été faits après des pluies, suffisantes pour la levée mais suivies de périodes sèches, ce qui explique également qu'entre fin juillet et la mi-août l'arachide se soit très peu développée, sa véritable croissance végétative ne démarrant que lors de la reprise des pluies dans la seconde décennie d'août qui correspond aux 4^{ème} et 5^{ème} semis du mil.

Tous ces prélèvements d'hivernage étaient destinés à la détermination de la nitrification nette *in situ* et à la quantification de la biomasse microbienne dans l'horizon 0-10 cm.

Pour l'essai RMO annuel, le traitement de la récolte est identique à celui mis en œuvre en 1996 sur l'essai principal (densité à la récolte, nombre total d'épis, trois fractions pesées : tiges + feuilles, rachis + glumes, grains) à ceci près que les exportations seront calculées sur les plantes entières et non sur les trois fractions pesées.

3.1.2.3 L'essai « Travail du sol*compost »

3.1.2.3.1 Ses objectifs

Cet essai a été mis en place par Sène (Sène et Pérez, 1994) en 1990 sur le sol de glacis du bassin versant de Kaymor. Son objectif est d'étudier les effets de techniques culturales, associant lutte anti-érosive et amélioration du statut organique du sol, sur une rotation biennale arachide-mil (Perez *et al.*, 1996). Les variables étudiées sont les composantes du rendement et les caractéristiques hydriques (bilan hydrique avec mesure de la lame ruisselée), physiques (rugosité, états de surface) et pédologiques (enracinement, fertilité chimique) du sol (Brouwers et Fortier, 1989).

Pour notre part, cette campagne a été consacrée à l'étude des arrière-effets des 6 années de traitement déjà écoulées par l'installation d'une culture test (maïs, pour la région du Sine-Saloum, isohyète 700 mm) ce qui a imposé l'arrêt définitif des traitements appliqués jusqu'alors. Le protocole de l'essai ne permettait pas de réaliser la même opération que sur l'essai de Bambey (voir 3.1.2.1.2).

Traitements appliqués de 1990 à 1995 :

P1 : Nettoyée et sarclée

P2 : Non nettoyée, non sarclée

P3 : Nettoyée, décompactée en sec, sarclée

P4 : Nettoyée, décompactée en sec avec apport de 5tMS/ha de compost, sarclée

P5 : P4 + reprise du travail

P6 : P5 + second apport de compost de 5tMS/ha

Légende :



Décompactage



Reprise du travail

C

Apport de compost de 5tMS/ha

C*2

Deux apports de compost de 5tMS/ha

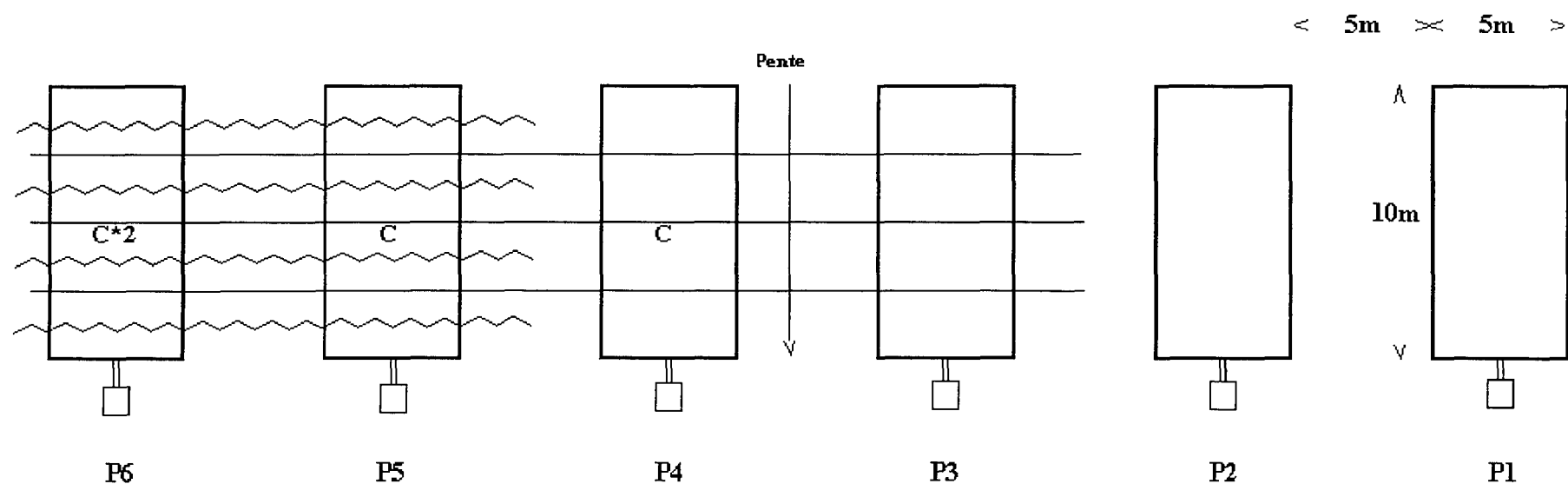


Figure 4 : Essai "Travail du sol * compost" de Thyssé-Kaymor mis en place en 1990 par Sène (1993)

3.1.2.3.2 Le dispositif (Figure 4)

L'essai est implanté sur une grande parcelle du PAPEM (Point d'Appui, de Pré-vulgarisation et d'Expérimentation Multilocale) de Sonkorong, situé entre les villages de Thyssé et de Kaymor. Il est constitué de six parcelles de 50 m² (5m * 10 m) appelées aussi "ruissellomètres" car elles sont disposées dans le sens de la pente ($\cong 1.5\%$), entourées de tôles de 20 cm et débouchant sur des cuves de ruissellement de 1 m³.

Les six parcelles correspondent aux six traitements suivants, sans répétitions, appliqués depuis 1990 (année d'arachide) jusqu'en 1995 (année de mil) soit trois rotations complètes :

- P1 : Parcelle nettoyée et sarclée (témoin paysan),
- P2 : Parcelle non nettoyée, non sarclée (témoin absolu), de ce fait elle n'est cultivée qu'une année sur deux (en mil), la compétition avec les adventices étant trop forte pour l'arachide,
- P3 : Parcelle nettoyée, décompactée en sec à la dent et sarclée,
- P4 : Parcelle nettoyée, décompactée en sec à la dent avec un apport simultané de 5 t MS ha⁻¹ an⁻¹ de compost et sarclée,
- P5 : P4 + reprise de travail (pseudo-buttagage sur mil, sarclo-buttagage de prélevée sur arachide),
- P6 : P5 + apport de 5 t MS ha⁻¹ an⁻¹ de compost à la reprise de travail.

Les variétés utilisées sont le Souna III pour le mil et la 73-33 pour l'arachide.

Pour cette campagne d'évaluation des effets résiduels des six précédentes années de traitement, nous avons mis en place une culture de maïs, plante plus sensible aux niveaux de fertilité, et notamment azotée, que le mil. Cette plante-test a été semée sur ces parcelles sans qu'aucun travail du sol ni apport de compost n'y soit réalisé. La variété utilisée (Synthétique C), a été choisie pour son cycle de 90 j compatible avec la zone écologique mais également pour son potentiel de rendement relativement élevé ($\cong 3 \text{ t ha}^{-1}$) qui permet de bien mettre en évidence les différences entre traitements lorsqu'elles existent. Par ailleurs, afin de tenir compte de la variabilité spatiale potentiellement induite par la pente, nous avons subdivisé chaque parcelle en deux moitiés, une partie haute et une partie basse, chacune d'entre elle comportant deux sous-parcelles (droite et gauche) ou répétitions internes (Figure 5). Dans chacune de ces quatre sous-parcelles, une petite surface (deux lignes de semis) est réservée

Légende :

□ Placette de rendement
de $3,375 \text{ m}^2$ ($2,25 \times 1,5$)

□ Placette de prélèvements
de $5,40 \text{ m}^2$ ($2,25 \times 2,4$)

■ Emplacement des tubes
d'accès pour sondes, des
thermocouples

□ Cuves de ruissellement
de 1 m^3 ($1 \times 1 \times 1 \text{ m}$)

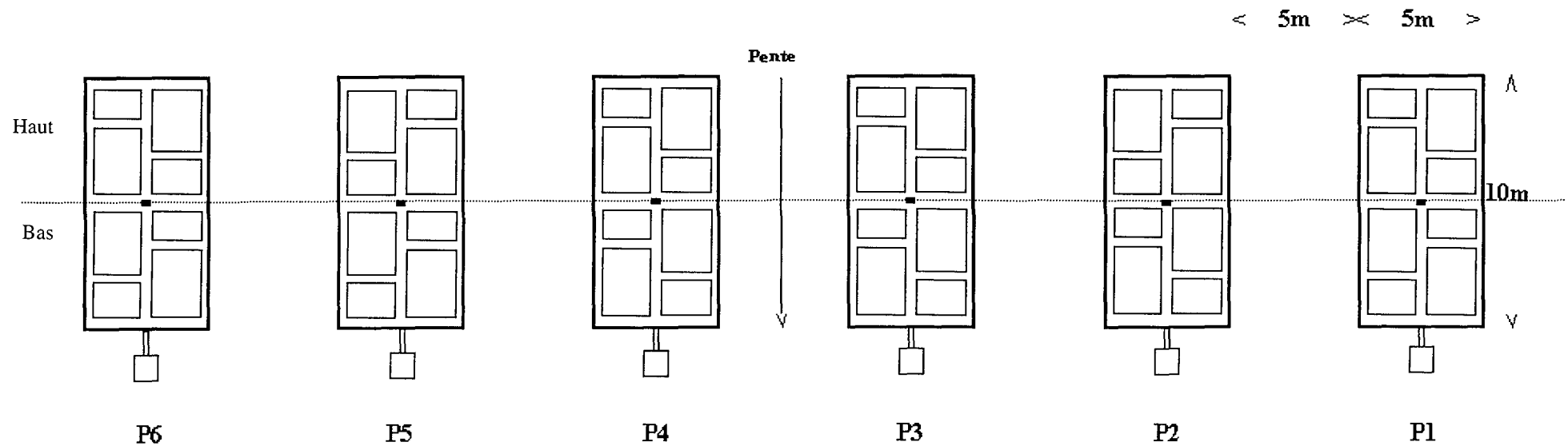


Figure 5 : Distribution des placettes d'observation sur l'essai de Thysse-Kaymor

aux rendements, aucun prélèvement n'y est effectué pour le suivi biologique du sol, pour les mêmes raisons que celles qui prévalent sur l'essai de Bambey. Les prélèvements sont effectués sur l'autre placette qui comporte trois lignes de semis. Au sein de chaque demi-parcelle, les positions respectives des placettes de rendement et des placettes de prélèvement sont inversées entre les deux répétitions internes, toujours pour prendre en compte la pente de l'essai.

Les opérations culturales (binages) sont effectuées à la demande.

Le PAPEM dispose d'une mini station météorologique et le relevé des précipitations y est journalier.

3.1.2.3.3 Choix des traitements et modalités des prélèvements de sol

Vu le nombre des placettes de prélèvement et de rendement, et compte tenu du fait que le traitement P2 ne correspond pas à une pratique agricole en vigueur ou envisageable dans la région, nous avons choisi de ne pas effectuer, sur cette parcelle P2, le suivi périodique dont ont bénéficié les autres parcelles tout au long de l'année, à l'exception du dénombrement des nématodes phytoparasites en cours d'hivernage réalisé par Cécile Villenave (Laboratoire de Biopédologie, IRD-Dakar).

Les prélèvements destinés à la caractérisation physico-chimique de début et fin d'essai ont été réalisés sur les demi-parcelles (positions hautes et basses) selon la même procédure et sur les mêmes horizons qu'à Bambey à savoir un mélange de six carottes prélevées sur l'ensemble de chaque demi-parcelle et sur les horizons 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-80 et 80-120 cm. Ces prélèvements ont été effectués en mai et décembre 1996.

Le suivi biologique de l'essai a été effectué, comme à Bambey, sur les horizons 0-10 et 20-30 cm mais également sur l'horizon 30-40 cm. En effet, le sol de cet essai présentant une induration à 30 cm de profondeur (Sène, communication personnelle), il nous a semblé intéressant d'inclure cet horizon à notre étude afin d'évaluer l'impact de cette induration localisée sur la biomasse microbienne sous-jacente. Ces prélèvements ont été effectués aux stades :

- semis (21 juillet 1996) et semis + 7j,
- début montaison (19 août 1996) et début montaison + 7j,
- floraison mâle (24 septembre 1996) et floraison mâle + 7j,
- récolte (21 octobre 1996) et récolte + 7j,
- puis toutes les quatre semaines jusqu'au 19 mai 1997.

Ces prélèvements étaient destinés à quantifier la biomasse microbienne du sol ainsi que, sur l'horizon 0-10 cm uniquement, les minéralisations nette et brute de l'azote *in situ* à l'aide d'une dilution isotopique (^{15}N) et la population des nématodes phytoparasites.

Sur chaque placette on a déterminé la densité à la récolte et le nombre d'épis. Puis, on a séparé tiges et feuilles des rachis et spathes et enfin des grains. Toutes ces fractions ont été séchées à 70°C, pesées et échantillonnées pour analyses.

3.1.3 L'essai multilocal en milieu paysan

3.1.3.1 Son objectif

Lorsque l'on essaye d'extrapoler les résultats d'essais en station du type « courbe de réponse à la matière organique », qui proposent une dose dite « optimale » de fumier à apporter, en milieu paysan, on constate toujours une grande variabilité des réponses sans être en mesure de l'expliquer. Nos hypothèses pour tenter d'expliquer cette variabilité repose sur :

- la qualité du fumier épandu par le paysan, définie par :
 - ◊ sa richesse en éléments minéraux (N, P, K, Ca, Mg),
 - ◊ la quantité de matière organique apportée au sol (%C),
 - ◊ sa pollution en sable (% silice),
 - ◊ la nature chimique de cette matière organique (lignine, cellulose mais aussi présence de polyphénols) qui peut engendrer un effet phytotoxique inhibiteur de la germination et conditionne sa propre minéralisation par les organismes vivants du sol et son influence sur ces populations,
- la population et l'activité des divers micro-organismes du sol présents avant l'apport,
- le type de sol et son état de fertilité global,
- les conditions climatiques sous lesquelles évoluent le sol.

Pour ce faire, nous avons testé l'impact d'un apport massif de fumier paysan sur la biomasse microbienne d'un sol, la nitrification nette *in situ*, sa nitrification nette potentielle, l'état nutritionnel de la culture de mil testée et les composantes des rendements. Ces effets sur les populations de nématodes phytoparasites et libres ont également été évalués par Cécile Villenave.

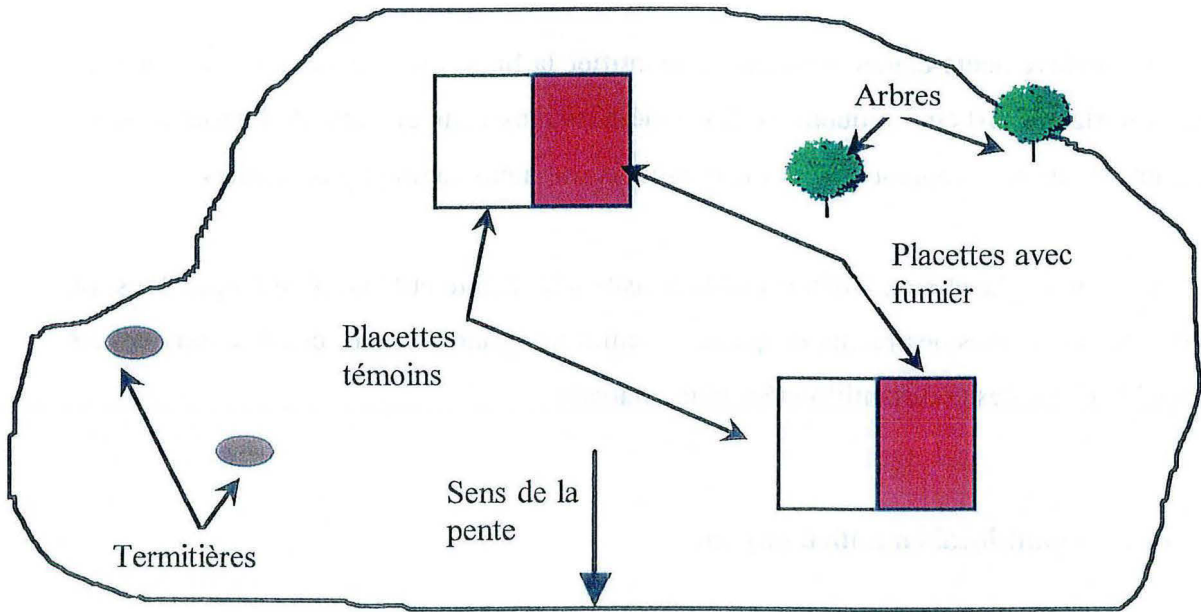


Figure 6a : Exemple d'aménagement des placettes test dans un champ paysan

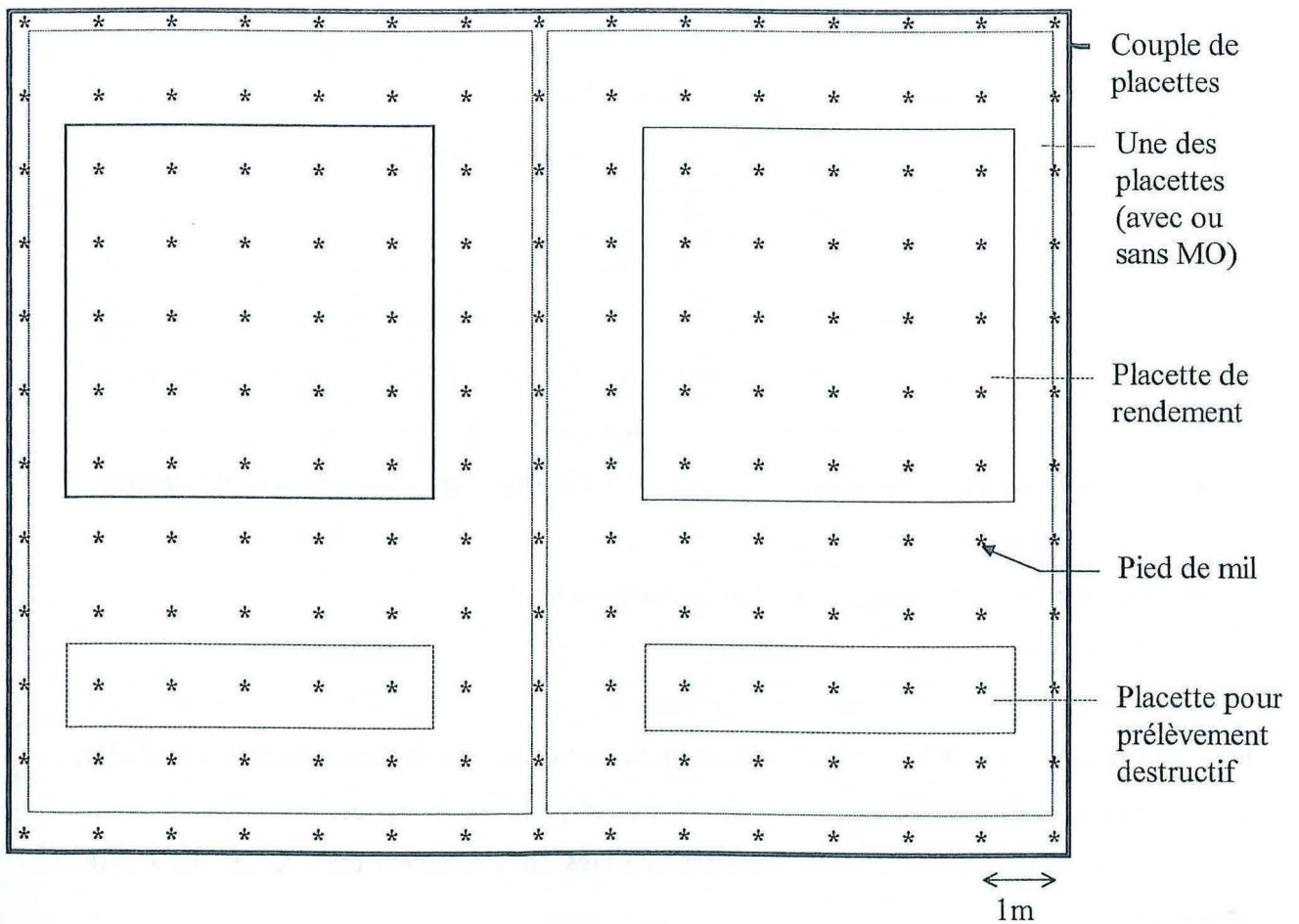


Figure 6b : Aménagement d'un bloc de test en milieu paysan

L'ensemble de ces données doit permettre de caractériser ces sols sur un plan biologique et d'établir des types de comportement des sols selon l'évolution de ces critères biologiques au cours de l'hivernage.

3.1.3.2 *Le dispositif*

Dans chacune des zones d'étude (dénommées Z1 pour Nioro et Z2 pour Bambey), on a recherché vingt-cinq champs paysans satisfaisant aux conditions suivantes :

- être représentatifs des types de sols présents dans la zone,
- avoir été cultivés, l'année précédente, en arachide afin d'avoir un précédent cultural homogène pour tous les champs et être destinés à une culture de mil,
- ne pas recevoir un apport d'engrais l'année de l'essai (situation par ailleurs très fréquente).

Pour la zone de Nioro, ces champs sont situés dans les villages de Paoskoto, Keur Bidie et Darou Loughué à 4 km au nord et au nord-est de Nioro, disposés sur un axe est-ouest. Pour la zone de Bambey, les villages de Ndiakane et Keur Seck, à environ 10 km à l'est (Ndiakane) et au nord-est (Keur Seck) de Bambey, ont été choisis. Pour Nioro, nous disposons d'une carte pédologique (carte 3) réalisée par Bertrand (1971). Pour la zone située à l'est de Bambey, nous ne disposons pas d'une carte pédologique à une échelle aussi fine que celle de Bertrand, raison pour laquelle nous nous sommes appuyés sur la connaissance des paysans de leurs sols. Ce sont donc quatorze sols Dior, huit sols Dek-Dior et trois sols Dek qui ont été choisis, les sols Dek-Dior étant tous situés dans le village de Keur Seck.

Sur chaque champ choisi, nous avons mis en place deux couples de placettes constitués d'une placette avec apport de fumier et de son témoin adjacent (Figure 6a). Chaque placette couvre 77 m^2 ($11\text{m} * 7\text{m}$) d'où une superficie de 154 m^2 par bloc. Ces blocs sont disposés sur le champ de manière à limiter les biais qui pourraient être induits par une pente, la présence d'une termitière ou la proximité d'un arbre. Les champs des deux zones ont été semés en mil Souna III (semences fournies par nos soins, semis à $1 * 1\text{m}$ sur toutes les placettes), cette variété étant également présente dans la zone de Nioro car elle permet de « sécuriser » la production en cas d'année sèche par rapport à la variété locale plus sensible au stress hydrique. Dans chaque placette de 77 m^2 , une surface de 25 m^2 ($5\text{m} * 5\text{m}$) constitue la placette de rendement sur laquelle sont également effectués les prélèvements de sol pendant la saison des pluies. Par ailleurs, une surface de 5 m^2 ($5\text{m} * 1\text{m}$) est quant à elle destinée à un

prélèvement destructif en cours de culture, au stade fin montaison-début épiaison, afin d'évaluer l'état nutritionnel de la culture (Figure 6b).

Les binages sont laissés à la discrétion du paysan qui les réalise sur l'ensemble de son champ lorsqu'il le juge nécessaire (2 à 3 par saison en moyenne). Ils peuvent être réalisés à l'hilaire (outil à main constitué d'un petit soc métallique triangulaire et plat, placé à l'extrémité d'un manche en bois d'environ 3 m que l'on pousse devant soi, le grattage est très superficiel, 1 cm de profondeur) surtout dans la zone de Bambey, ou à la houe (équipée de trois dents et tractée par un âne ou un cheval, le travail est léger, 2-3 cm de profondeur), plus fréquente dans la zone de Nioro où la traction équine est plus répandue. Aucun champ n'a fait l'objet d'un travail du sol à proprement parler. Seules ces opérations de désherbage permettent un ameublissement très superficiel et l'incorporation du fumier aux premiers centimètres du sol.

Pour ces essais, nous disposons d'un pluviomètre (type Agram) par village, disposé approximativement à égale distance des champs du dit village et relevé quotidiennement.

3.1.3.3 Modalités des prélèvements de sol

Un prélèvement de fin de saison sèche (29-31 mai 1997 pour Z1, 2-4 juin 1997 pour Z2) a été réalisé sur les horizons 0-10 et 20-30 cm de chaque placette de 77 m² avant épandage du fumier, pour une caractérisation physico-chimique classique des sols de départ, le premier dénombrement des nématodes phytoparasites et libres, et la détermination de l'activité nitrifiante potentielle des sols avant application du traitement. Le même prélèvement a été effectué à la fin de l'essai, après la campagne (20-23 octobre 1997 pour Z1, 20 novembre 1997 pour Z2) pour y réaliser les mêmes analyses.

Les prélèvements destinés à la quantification de la biomasse microbienne, à la détermination de la minéralisation nette de l'azote *in situ* et à l'étude des populations de nématodes en cours d'hivernage ont eu lieu aux stades :

- premier semis (Z1 : 19-21 juin 1997, Z2 : 27-29 juillet 1997) et premier semis + 7j,
- fin montaison-début épiaison pour Z1 uniquement (1-4 septembre 1997) et fin montaison-début épiaison + 7j,
- post-récolte (2 semaines après la récolte, 20-23 octobre pour Z1 et 20 novembre 1997 pour Z2) et post-récolte + 7j.

Ici aussi il faut préciser que les premiers semis et ressemis ont été ravagés par les sauteriaux (*Oedaleus senegalensis*) et/ou détruits par une importante poche de sécheresse de

trois semaines (à Bambey comme à Nioro) et que les plantes récoltées correspondent aux semis effectués mi-juillet pour Z1 et mi-août pour Z2.

3.1.3.4 *Les plantes*

Des pieds de mil ont été prélevés, sur la placette de 5 m² prévue à cet effet, au stade où la végétation est à son maximum (fin montaison-début épiaison, après ce stade, certains talles régressent et des translocations ont lieu lors du remplissage du grain) afin de déterminer la biomasse produite et d'en évaluer l'état nutritionnel (teneurs en azote et en phosphore) selon la technique de Lemaire *et al.* (1996). Ce prélèvement n'a pas pu être effectué pour Z2.

A la récolte de chaque placette, nous avons déterminé la densité, compté les épis fertiles et infertiles et séparé la récolte en trois fractions (tiges + feuilles, rachis + glumes, grains) séchées, pesées et broyées et mélangées (échantillon composite) avant analyse.

3.2 METHODES

3.2.1 Caractérisation physico-chimique des sols

Les échantillons prélevés à cet effet avant et après hivernage ont été séchés à l'air puis tamisés à 2 mm (refus négligeable) avant stockage dans des sachets en plastique fermés et placés à l'abri de la lumière.

Les analyses physico-chimiques classiques ont été réalisées par le laboratoire d'analyses physico-chimiques sols et végétaux du CIRAD selon les normes suivantes :

- analyse granulométrique par la méthode « A » simplifiée (Norme AFNOR X 31-107, 1983),
- dosage du C total par analyseur automatique (CHN Leco 600) (AFNOR, 1996b),
- dosage du P assimilable, selon la méthode Olsen modifiée par Dabin (1967), suivie d'une colorimétrie automatique des ions PO₄⁻ au bleu de molybdène (Norme AFNOR X 31-116, 1984),
- le complexe d'échange est analysé par la méthode au chlorure de cobaltihexamine selon la méthode d'Orcini et Rémy (1976) et le protocole de la norme AFNOR X 31-130 (1985),

- le pH est déterminé sur un mélange sol/solution d'un rapport 1/2.5 (Norme AFNOR X 31-103, 1981 pour le pH_{eau} et norme X 31-104, 1981 pour le pH_{KCl}).

Le dosage de l'azote total (Nt) a, quant à lui, été réalisé dans le laboratoire Soltrop du CIRAD par attaque Kjeldahl (sur un banc de chauffe en présence de H_2SO_4 36 N et d'un catalyseur à base de K_2SO_4) (AFNOR, 1996a).

3.2.2 Caractérisation biologique des sols

Notre approche est essentiellement quantitative et repose sur la détermination de la biomasse microbienne totale d'un sol, qui, bien qu'elle ne représente guère plus de 2 à 4% de la matière organique totale d'un sol, est responsable de 80% des transformations subies par cette dernière (Pankhurst *et al.*, 1997), les 20% restants étant attribués à la méso- et macrofaune. Nous avons également estimé l'une des multiples activités de cette biomasse : l'activité nitrifiante. Nous avons choisi celle-ci car elle conditionne l'offre du sol en azote directement assimilable par la culture (NO_3^-). Nous avons mesuré cette activité en conditions réelles (*in situ*), et en conditions optimales de température et d'humidité (*potentielle*) afin de déterminer l'activité nitrifiante potentielle de nos sols.

Par ailleurs, Cécile Villenave (laboratoire de Biopédologie de l'IRD, ex-ORSTOM, de Dakar) a caractérisé la population des nématodes phytoparasites et libres (dont les bactériophages) de nos sols afin d'évaluer un éventuel effet des traitements mis en place sur les différentes espèces présentes et de voir dans quelle mesure une pratique agricole peut réduire la pression parasitaire et permettre une gestion écologique de cette microfaune, l'utilisation des nématicides étant à présent interdite au Sénégal eu égard au danger qu'ils représentent pour la santé de celui qui les utilise. Même sans cette interdiction, leur coût reste prohibitif et ces traitements ne représentent pas une priorité pour le paysan. Ces résultats faisant l'objet de publications, acceptées (Villenave *et al.*, 1998) ou en préparation, auxquelles on pourra se référer ; nous n'avons pas jugé nécessaire d'inclure à nouveau ces résultats dans ce mémoire.

Toutes ces déterminations (à l'exception de la nitrification potentielle faite à partir des sols prélevés avant et après campagne) sont réalisées sur la base d'un même échantillon composite tamisé à 4 mm lors du prélèvement. La fraction réservée au dénombrement des

nématodes est ensachée, placée à l'ombre et acheminée au laboratoire de Biopédologie de l'IRD après le prélèvement.

3.2.2.1 Quantification de la biomasse microbienne

La biomasse microbienne peut être estimée par de multiples méthodes (Nicolardot *et al.*, 1982), (Martens, 1995). A l'origine, la biomasse microbienne devait être réalisée sur sol frais par la méthode de Fumigation-Incubation (FI) de Jenkinson et Powlson (1976) afin de pouvoir comparer nos résultats avec ceux obtenus dans les mêmes conditions écologiques par Badiane (1993). Par cette méthode, la biomasse microbienne est estimée à partir de la quantité de CO₂ minéralisé lors d'une incubation conduite après exposition du sol à des vapeurs de chloroforme pendant 16 h. Cette détermination repose sur la consommation, pendant la première phase de l'incubation (0 à 10 j), des corps microbiens tués par la fumigation au chloroforme, par les quelques micro-organismes survivants. La minéralisation de la matière organique du sol, ou « bruit de fond », est estimée lors de la seconde phase de l'incubation (10 à 20 j). La biomasse est calculée selon l'équation suivante :

$$BM_C = [F(0-10) - F(10-20)] / Kc$$

avec : F(0-10) : flush de minéralisation entre 0 et 10 jours,

F(10-20) : flush de minéralisation entre 10 et 20 jours,

Kc : facteur de proportionnalité entre le flush et la biomasse, égal à 0,41

(Nicolardot *et al.*, 1984) (Anderson et Domsch, 1978) (Voroney *et al.*, 1984).

Toutefois, un problème technique indépendant de notre volonté (panne prolongée de chambre froide), survenu lors de la première campagne, nous a privés de ces résultats sur les essais de l'année 1996 et nous a contraints à réaliser une expérience méthodologique *in vitro* avec J. Fardoux et J.-L. Chotte (IRD - Dakar) dont les résultats ont, depuis, été publiés (Fardoux *et al.*, 1999), afin de pouvoir estimer la biomasse microbienne malgré ces difficultés de conservation. Voici un bref résumé de cet essai méthodologique et de ses résultats.

Objectifs

Les objectifs sont de comparer les deux principales techniques d'évaluation de la biomasse microbienne d'un sol, et également de préciser les effets d'un séchage à l'air de

l'échantillon suivi d'une réhumectation avant la mesure de biomasse microbienne, par rapport à une mesure faite sur échantillon frais. La finalité est de trouver une relation entre la mesure de biomasse microbienne sur échantillon frais et la même mesure faite sur échantillon séché à l'air puis réhumecté, ceci afin de pouvoir différencier cette détermination.

Matériel et méthodes

Les deux méthodes testées sont la FI déjà décrite et la Fumigation-Extraction de N α -aminé (Amato et Ladd, 1988) (Vance *et al.*, 1987). Pour la fumigation-extraction (FE), après action du chloroforme (pendant 10 j et non plus 16 h), une extraction saline est effectuée sur les échantillons de sol et la biomasse microbienne est estimée à partir de la quantité de N α -aminé provenant des parois microbiennes et solubilisé durant la fumigation. Cet azote est libéré par protéolyse des corps microbiens tués sous l'action de vapeurs de chloroforme pendant les 10 j. La biomasse microbienne est calculée en multipliant le gain d'azote α -aminé libéré lors de la fumigation par le facteur 21. Les résultats sont exprimés en $\mu\text{g C g}^{-1}$ sol (BM_C).

$$\text{BM}_C = (\text{N } \alpha\text{-aminé sol fumigé} - \text{N } \alpha\text{-aminé sol non fumigé}) * 21$$

Cette étude a été réalisée sur un sol ferrugineux sableux de la région de Thiès, amendé ou non en fumier (20 g kg^{-1} de sol) et testé à trois niveaux d'humidité (sec à l'air, 5 % et 15% d'humidité pondérale correspondant à 100 et 300% de la capacité de rétention déterminée par la méthode de Feodoroff et Betremieux (1964).

Résultats

Dans tous les cas de figure testés, la BM_C mesurée sur sol sec à l'air est très faible. Sur sol frais humide (à 5 ou 15%), la BM_C est influencée par l'apport de fumier mais pas par le niveau d'humidité et les deux méthodes donnent des résultats sensiblement identiques à l'exception de la BM_C du sol avec fumier qui est surestimée par la méthode FI, comparativement à la FE. Cette surestimation par la méthode FI serait due à l'apport de matière organique exogène selon Jenkinson et Powlson (1976) et Martens (1995), qui remettent en cause l'emploi de cette méthode dans le cas d'un apport récent de carbone exogène au sol étudié ; c'est d'ailleurs la raison pour laquelle certains auteurs ont choisi la méthode FE (Ocio et Brookes, 1990). Le séchage suivi d'une réhumectation à l'humidité

d'origine et d'une pré-incubation à 30°C conduit à des résultats variables. En effet, pour la méthode FI, la BM_C mesurée est identique à celle obtenue sur sol frais lorsque l'on travaille sur un sol fortement enrichi en fumier. Mais ce résultat n'est pas valable pour le sol non amendé. De plus, selon le niveau d'humidité, on aboutit soit à une sous-estimation de la BM_C initiale à 5% d'humidité, soit à une forte surestimation à 15% d'humidité, ce qui rend impossible toute comparaison entre traitements. Pour la méthode FE, on constate que la BM_C mesurée est toujours inférieure à celle déterminée sur sol frais, cependant, (i) les différences entre traitements sont préservées d'une part, et (ii) la BM_C réalisée sur un sol réhumecté à 5% d'humidité représente 39% de la BM_C du même sol à l'état frais humide, ce « taux de recouvrement » de la biomasse réelle sur sol frais passant à 84% si le sol est réhumecté à 15% d'humidité.

C'est sur ce dernier résultat que s'appuie notre « changement de stratégie analytique ». En effet, ne pouvant réaliser la détermination de la BM_C réelle sur sol frais, contrairement aux préconisations de Chaussod *et al.* (1986), nous avons décidé d'appliquer cette méthode aux essais de la campagne 1997 en étant bien conscients que la BM_C mesurée de cette façon présente une certaine, mais relativement légère, sous-estimation de la BM_C réelle. Nous avons séché à l'air les échantillons en attendant de pouvoir effectuer cette détermination par la méthode FE sur sol réhumecté et pré-incubé en laboratoire à Montpellier. Nous avons procédé de même pour les essais de la campagne 1996 mais uniquement sur les échantillons n'ayant pas souffert de mauvaises conditions de conservation c'est-à-dire les échantillons prélevés secs avant et après hivernage (ceux prévus pour la caractérisation physico-chimique classique) ainsi que ceux prélevés en cours de saison sèche. Pour ces essais-là nous ne disposons donc pas des BM_C d'hivernage. La BM_C étant supposée faible et relativement stable pendant la saison sèche, elle n'a été quantifiée qu'une date sur deux, soit toutes les huit semaines pour les essais en station concernés par ce suivi (campagne 1996).

Par ailleurs, le nombre des échantillons étant très important, nous nous sommes limités à l'horizon 0-10 cm pour tous les essais (donc abandon des échantillons des horizons 20-30 et 30-40 cm), cet horizon étant le plus rapidement affecté par des pratiques culturales et donc celui sur lesquelles d'éventuelles différences seront les plus visibles.

Concrètement, les BM_C sont mesurées sur une aliquote de 10 g de sol sec pré-incubé à 30°C pendant 14 j à une humidité équivalant à pF 1.8, déterminée par centrifugation pendant 30 min à 700 trs min⁻¹ (Fortier, communication personnelle) du sol saturé *per ascensum*, soit 19% d'humidité pondérale, humidité moyenne, homogène, constatée sur les différents sols.

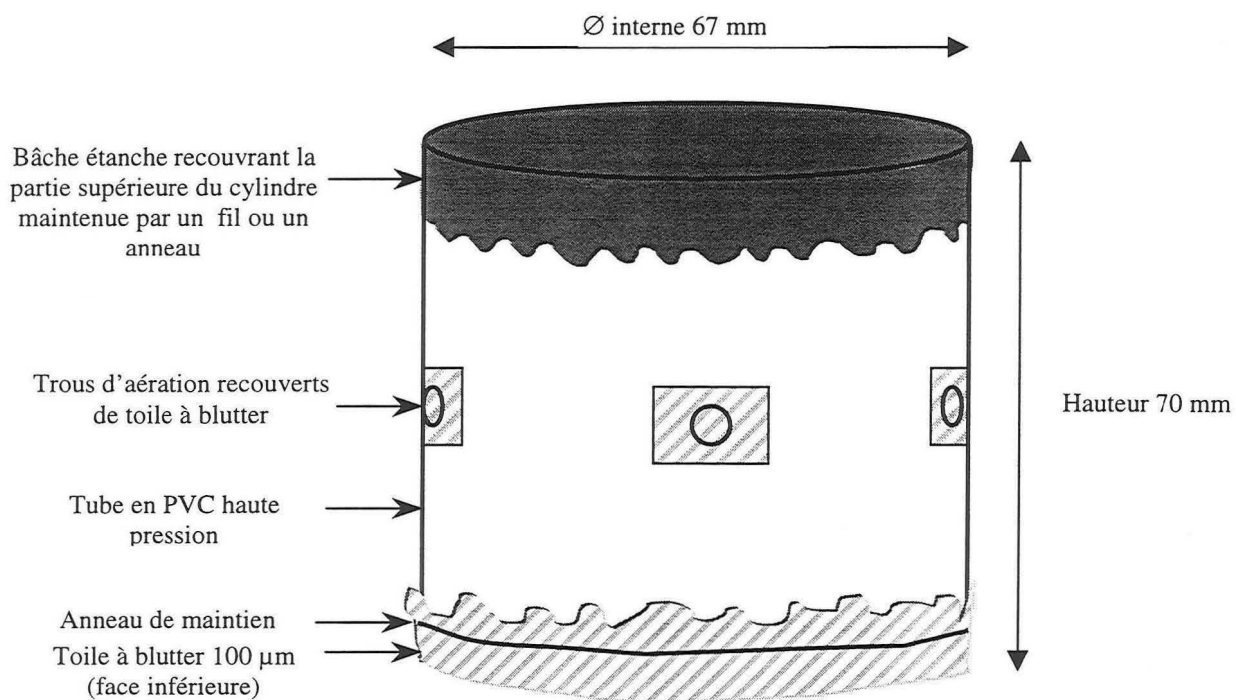


Figure 7 : Modèle de cylindre utilisé pour la détermination de la nitrification *in situ* (taille réelle)

Chaque échantillon de sol fait l'objet de deux répétitions et nécessite donc quatre aliquotes de sol (deux fumigés, deux non fumigés). La pré-incubation terminée, les échantillons sont divisés en deux lots : une moitié des échantillons fait l'objet d'une extraction immédiate de N α -aminé alors que l'autre moitié est fumigée dans un dessiccateur (lots de 40) par 50 ml de chloroforme lavé, puis les échantillons, maintenus en atmosphère saturée de CHCl_3 , sont placés à l'étuve à 30°C pendant 10 j au terme desquels on procédera également à l'extraction de N α -aminé. L'extraction est effectuée en transvasant la totalité de l'aliquote dans 40 ml d'une solution de KCl 1M agitée 2 h à 40 trs min^{-1} puis centrifugée 15 min à 3000 trs min^{-1} . Le dosage de N α -aminé est réalisé par colorimétrie automatique (Alliance Evolution II) à la ninhydrine selon une technique adaptée de Ohlinger (1995).

3.2.2.2 Détermination de la nitrification *in situ*

Afin de suivre l'évolution de la nitrification nette (Nit_{nt}) de l'horizon 0-10 cm au cours de l'hivernage (pour tous les essais) et pendant la longue saison sèche (essais en station de la campagne 1996 uniquement), nous avons utilisé un dispositif simple déjà mis en œuvre au Cameroun par Harmand (Harmand, 1997). Le principe de ce dispositif est de placer un échantillon de sol fraîchement prélevé, dont on détermine par ailleurs l'humidité et les teneurs en NH_4^+ et NO_3^- initiales, dans un cylindre, protégeant de la lixiviation, de la mésofaune et des racines, que l'on enterre dans les conditions hydriques et thermiques des dix premiers centimètres du sol de l'essai pendant une durée d'incubation t . Au terme de cette phase d'incubation *in situ*, le cylindre est déterré et on dose à nouveau NH_4^+ et NO_3^- . Par différence avec la situation initiale, si l'on suppose les pertes nulles, on détermine la nitrification nette (quantité de NO_3^- apparue dans le cylindre) et on dispose d'indications sur le cycle interne de l'azote (minéralisation - réorganisation). Seule l'utilisation du ^{15}N permet de quantifier individuellement ces derniers flux.

Ces cylindres (voir figure 7) sont fabriqués artisanalement en découpant, dans des tubes PVC haute pression de diamètre interne 67 mm, des anneaux de 70 mm de longueur (volume utile 247 cm^3). Quatre trous de 8 mm de diamètre sont percés sur le pourtour central du cylindre puis recouverts d'un fragment de toile à blutter (maille de 100 μm), fixé à la colle époxy, afin de permettre des échanges gazeux avec le sol extérieur sans prospection racinaire. L'ouverture du cylindre qui sera tournée vers la surface du sol est recouverte d'un plastique épais (type bâche) non perforé maintenu par un collier de serrage ou, à défaut, un anneau de fil de fer. Une fois l'échantillon de terre placé dans le cylindre, la partie inférieure de ce

dernier est fermée par de la toile à blutter, également maintenue par un collier de serrage ou un fil de fer. Un bâtonnet partiellement enterré ou une étiquette reliée au cylindre permettent de retrouver le cylindre dans la parcelle en fin d'incubation.

Etant donné le volume des cylindres, et afin de respecter la densité apparente des sols ($d_a \cong 1.5$), la quantité de terre placée dans les cylindres est de 375 g de sol frais. La durée d'incubation choisie est de 7 j. Avant et après incubation, l'humidité pondérale de l'échantillon de sol est obtenue par séchage à 110°C en boîtes à tare et les teneurs en NH_4^+ et NO_3^- sont déterminées par extraction sur environ 50 g de sol frais (poids exact connu par pesée lors du retour au laboratoire) dans 180 ml d'une solution de KCl 1M agitée pendant 3 h à 40 trs min^{-1} . Une aliquote de cette solution est filtrée stérilement dans un Vénoject de 10 ml (tube à prélèvement sanguin sous vide, stérile, non siliconé). Le dosage est effectué par colorimétrie automatique au laboratoire par la méthode décrite par Fallavier et Egouménidès (1975) utilisant la réaction de Berthelot pour NH_4^+ et, pour NO_3^- , la technique au réactif de Griess après réduction en nitrites au sulfate d'hydrazine (Burdin et Egoumenides, 1973).

Pour l'essai de Thyssé-Kaymor (campagne 1996), nous avons adapté cette méthode à l'utilisation du ^{15}N pour quantifier les flux bruts par dilution isotopique (Guiraud, 1984, 1987). En effet, par l'ajout d'une très faible quantité de NH_4^+ sous forme de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ fortement marqué au temps 0, on peut déterminer la quantité exacte de NH_4^+ nitrifié après 7 j en tenant compte des précautions liées à cette technique (Schimel, 1996). Pour ce faire, nous avons ajouté 10 ml d'une solution de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ à 150 mg l^{-1} soit 32 mg l^{-1} de N marqué à 68%. Une extraction immédiate est réalisée avec exactement 50 g de sol frais dans 250 ml d'une solution de KCl 1M. Après agitation, on laisse décanter et le surnageant (200 à 220 ml environ) est filtré stérilement grâce à une unité de filtration sous vide. La même opération est renouvelée en fin d'incubation. Après dosage des teneurs en NH_4^+ et NO_3^- au colorimètre automatique sur une aliquote de chaque extrait KCl, ces derniers sont préparés pour la détermination de l'abondance isotopique au spectromètre de masse. La détermination de l'abondance isotopique effectuée par le laboratoire du CNRS à Lyon impose de limiter l'abondance isotopique de l'échantillon à 2% et de disposer d'une quantité minimale de N dans l'extrait. Il a été nécessaire de procéder à des ajouts d'azote non marqué sous forme de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ et KNO_3 afin de respecter les contraintes du laboratoire chargé de l'analyse ($E\%$ échantillon $\leq 2\%$ et au moins 25 mg kg^{-1} de N).

3.2.2.3 Détermination de la nitrification nette potentielle

La nitrification nette mesurée *in situ* (Nit_{nt}) peut être limitée par des facteurs abiotiques (le pH par exemple mais surtout l'humidité et les variations de température, influençant l'activité des micro-organismes nitrificateurs à savoir *Nitrosomonas* et *Nitrobacter*) et également par la quantité de NH_4^+ initialement présente dans le sol. Afin de pouvoir comparer nos différents sols (campagne 1997), nous avons donc cherché à en estimer la nitrification potentielle (Nit_{pot}), en plaçant les échantillons dans des conditions contrôlées et optimales de température et d'humidité et en apportant une quantité non limitante de NH_4^+ . Cette détermination est réalisée sur l'horizon 0-10 cm des échantillons de sols prélevés avant et après la campagne d'essai à fins de caractérisation physico-chimique classique. Pour estimer l'activité nitrifiante avant campagne, nous avons utilisé un échantillon moyen issu d'un mélange à parts égales des quatre placettes de chaque champ (les deux placettes avec fumier ainsi que leurs témoins adjacents). Après campagne, l'échantillon utilisé est constitué d'un mélange des deux placettes d'un même traitement. Chaque échantillon composite ainsi formé est pré-incubé dans les mêmes conditions de température et d'humidité déjà mises en œuvre pour la détermination de la BM_C sur sol séché réhumecté, soit 14 j à 30°C à pF 1.8. La prise d'essai est, là aussi, de 10 g de sol sec, et chaque échantillon est répété trois fois. Au terme de cette pré-incubation, on ajoute 0.5 ml d'une solution de $SO_4(NH_4)_2$ à 1g l⁻¹ soit 10.6 mg de N ajouté kg⁻¹ de sol. Les aliquotes sont divisés en deux lots : le premier lot fait l'objet d'une extraction immédiate, le second est mis en incubation. Dans nos conditions expérimentales, la durée optimale d'incubation est de 4 j (Martin, 1997). L'extraction et le dosage de NH_4^+ et NO_3^- sont effectués en transvasant le sol dans 40 ml d'une solution de KCl 1M, en agitant l'ensemble 3 h à 40 trs min⁻¹ avant 15 min de centrifugation à 3000 trs min⁻¹ puis dosage par colorimétrie automatique selon les méthodes déjà citées. La Nit_{pot} (en mgN kg⁻¹ j⁻¹) est donc la quantité de N sous forme NO_3^- produite pendant ces 4 j d'incubation à partir de N sous forme NH_4^+ ajouté à t_0 .

3.2.3 Analyses des plantes récoltées et des fumiers

La majeure partie des analyses végétales a été réalisée par le laboratoire d'analyses physico-chimiques sols et végétaux du CIRAD.

Pour les céréales (maïs et mil) les analyses ont portées sur les teneurs en N, P, K, Ca et Mg afin de calculer les exportations.

Pour l'arachide, les teneurs en P, K, Ca et Mg ont été mesurées.

Pour les échantillons de fumiers « paysans » de 1997 et les échantillons de fumier et de compost des deux essais RMO épandus en 1996 et 1997, les analyses ont porté sur les teneurs en N, P, K, Ca et Mg mais également en C et en cendres (permettant une estimation de la pollution par la terre des fumiers). De plus, les échantillons de fumiers « paysans » étant hétérogènes, nous avons tenté d'en déterminer les « composants » en séparant les matières fécales identifiables (séparées alors en trois fractions : les petits ruminants (ovins et caprins), les gros ruminants (bovins) et les équidés (chevaux et ânes)), des débris grossiers (supérieurs à 2 mm regroupant divers matériaux comme des matières fécales trop fragmentées pour être identifiées, des fragments de paille, d'écorce, des brindilles, des graines de neem (*Azadirachta indica*), des coques d'arachide, et, plus rarement, des matériaux d'origine domestique organique ou non organique) et de la fraction inférieure à 2 mm constituée essentiellement de terre et de petits débris végétaux. Par ailleurs, des compléments d'analyses ont été effectués sur un nombre restreint d'échantillons d'aspects très différents afin d'en déterminer les teneurs en lignine, cellulose et hémicellulose (selon les méthodes Van Soest et Weende au laboratoire du programme Agro-alimentaire du CIRAD), ainsi que les polyphénols solubles et totaux (laboratoire Soltrop du CIRAD).

Pour les plantes prélevées en cours d'hivernage sur les parcelles paysannes pour définir leur état nutritionnel, ce sont les teneurs en N et P qui ont été analysées au laboratoire Soltrop après minéralisation Kjeldahl.

CHAPITRE 4

APPROCHE EN STATION DES EFFETS DES APPORTS DE MATIERE ORGANIQUE SUR L'ETAT DU SOL ET SES CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES

4.1 INTRODUCTION	33
4.2 LA COMPOSANTE CHIMIQUE DE LA FERTILITE DU SOL ET LA PRODUCTION VEGETALE : ROLE DES APPORTS ORGANIQUES	34
4.2.1 Evolution physico-chimique des sols de Bambey	34
4.2.1.1 Essai RMO pérenne	34
4.2.1.1.1 Etat du sol de départ	34
4.2.1.1.2 Etat du sol après deux rotations (4 ans) (voir annexe 1)	35
4.2.1.1.3 Etat du sol après trois rotations (6 ans)	38
4.2.1.2 Essai RMO annuel (campagne 1997)	40
4.2.1.2.1 Etat du sol de départ	40
4.2.1.2.2 Etat du sol après une campagne	41
4.2.1.3 Discussion	43
4.2.1.4 En résumé	45
4.2.2 La production végétale comme indicateur de l'évolution du sol de Bambey	45
4.2.2.1 Evolution des rendements de l'essai RMO pérenne	45
4.2.2.2 Les rendements de l'essai RMO annuel	48
4.2.2.3 Discussion	48
4.2.2.4 En résumé	49
4.3 LA COMPOSANTE BIOLOGIQUE DE LA FERTILITE DU SOL : SA RELATION AVEC LA COMPOSANTE CHIMIQUE ET AVEC LE RENDEMENT DES CULTURES	50
4.3.1 Nitrification nette <i>in situ</i>	50
4.3.1.1 A Thyssé-Kaymor	51
4.3.1.2 A Bambey	54
4.3.2 La biomasse microbienne	57
4.3.2.1 A Thyssé-Kaymor	58
4.3.2.2 A Bambey	59
4.3.3 Discussion	60
4.3.4 En résumé	62
4.4 CONCLUSION	63

4 APPROCHE EN STATION DES EFFETS DES APPORTS DE MATIERE ORGANIQUE SUR L'ETAT DU SOL ET SES CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES

4.1 INTRODUCTION

Notre objectif dans cette partie est, dans un premier temps, d'évaluer le rôle des apports organiques sur la composante chimique de la fertilité du sol et la production végétale, notamment la matière sèche totale (MS totale) qui, par son rôle intégrateur sera ici utilisée comme un révélateur. Puis, dans un second temps, nous rechercherons les relations entre ces variables (état chimique du sol et rendements) et la composante biologique du sol. Cette composante biologique comprend la biomasse microbienne, moteur de très nombreuses réactions et transformations de la matière organique du sol, et la nitrification nette *in situ* qui permet d'estimer la fourniture par le sol d'azote sous forme nitrique directement assimilable par la culture. De plus, nous avons tenté de caractériser les effets de la matière organique enfouie sur l'évolution globale du sol et des rendements lorsque cela était possible (RMO - Bambey). Dans cette partie, nous nous appuierons sur les résultats obtenus sur nos trois essais en station, deux implantés dans le nord du Bassin Arachidier (essais RMO pérenne et RMO annuel de Bambey), le dernier situé dans le sud du Bassin Arachidier (essai « Travail du sol*compost » de Thyssé-Kaymor).

Tableau IV : Caractéristiques physico-chimiques du sol avant mise en place des traitements de l'essai RMO pérenne (juin 1992)
Echantillons composites provenant des quatre angles et du centre de chaque série

Série	Angle	Horizon cm	Granulométrie (%)		Matière organique			Passimilable mg kg ⁻¹	Complexe d'échange (cmol kg ⁻¹)					pH	
			Argiles	Limons fins	Ct	Nt	C/N		Ca	Mg	K	S	CEC	pHKCl	pHeau
			0-2 µm	2-20 µm	%	mg kg ⁻¹									
Compost	Est	0-20	2,8	1,5	0,26	230	11,4	54,7	0,78	0,30	0,15	1,24	1,20	5,24	5,90
Compost	Est	20-40	3,3	1,8	0,16	130	12,6	38,6	0,46	0,13	0,04	0,64	1,20	4,06	4,94
Compost	Ouest	0-20	3,3	1,5	0,24	210	11,3	79,1	0,56	0,21	0,08	0,86	1,20	4,30	5,20
Compost	Ouest	20-40	4,3	2,0	0,20	130	15,0	50,1	0,46	0,16	0,04	0,67	1,20	3,91	4,84
Compost	Nord	0-20	3,0	1,5	0,28	230	12,1	58,9	0,78	0,25	0,13	1,17	1,20	4,85	5,72
Compost	Nord	20-40	3,8	1,8	0,17	110	15,6	49,2	0,50	0,16	0,05	0,72	1,50	3,94	4,92
Compost	Sud	0-20	3,3	1,8	0,28	210	13,2	59,8	0,61	0,25	0,13	0,99	1,50	4,61	5,50
Compost	Sud	20-40	4,8	2,5	0,13	160	7,9	35,0	0,43	0,16	0,05	0,65	1,20	3,90	4,78
Compost	Centre	0-20	3,0	1,5	0,26	270	9,6	53,4	0,56	0,23	0,11	0,91	1,20	4,61	5,49
Compost	Centre	20-40	4,3	2,3	0,20	160	12,4	38,6	0,78	0,34	0,05	1,18	1,50	4,10	4,98
Fumier	Est	0-20	3,0	1,5	0,26	250	10,6	44,2	0,89	0,27	0,12	1,28	1,40	4,75	5,60
Fumier	Est	20-40	3,5	1,8	0,16	130	12,0	36,8	0,72	0,23	0,06	1,01	1,00	4,08	5,00
Fumier	Ouest	0-20	3,0	1,5	0,26	170	15,4	66,2	0,72	0,23	0,10	1,06	1,40	4,68	5,62
Fumier	Ouest	20-40	3,8	2,0	0,19	180	10,4	53,4	0,45	0,11	0,04	0,60	1,00	3,95	4,80
Fumier	Nord	0-20	2,8	1,3	0,21	130	15,9	54,7	0,56	0,16	0,11	0,83	1,00	4,30	5,25
Fumier	Nord	20-40	3,0	1,5	0,16	120	13,0	41,4	0,50	0,16	0,06	0,73	1,00	4,00	5,02
Fumier	Sud	0-20	3,3	1,8	0,25	220	11,2	61,2	0,56	0,20	0,13	0,89	1,00	4,28	5,24
Fumier	Sud	20-40	5,0	2,5	0,19	130	14,5	44,2	0,56	0,18	0,06	0,80	1,40	3,85	4,65
Fumier	Centre	0-20	3,3	1,8	0,28	240	11,7	48,3	0,89	0,34	0,13	1,37	1,80	4,90	5,66
Fumier	Centre	20-40	3,3	1,8	0,15	110	13,5	40,9	0,45	0,16	0,06	0,67	0,90	4,05	4,92
Compost	Moyenne	0-20	3,1	1,6	0,26	230	11,5	61,2	0,66	0,25	0,12	1,03	1,26	4,72	5,56
Compost	Moyenne	20-40	4,1	2,1	0,17	138	12,7	42,3	0,53	0,19	0,05	0,77	1,32	3,98	4,89
Fumier	Moyenne	0-20	3,1	1,6	0,25	202	13,0	54,9	0,72	0,24	0,12	1,09	1,32	4,58	5,47
Fumier	Moyenne	20-40	3,7	1,9	0,17	134	12,7	43,3	0,54	0,17	0,05	0,76	1,06	3,99	4,88
Compost	Ectype	0-20	0,2	0,1	0,017	24,5	0,01	10,39	0,11	0,03	0,03	0,16	0,13	0,35	0,26
Compost	Ectype	20-40	0,6	0,3	0,029	21,7	0,02	6,89	0,14	0,08	0,01	0,23	0,16	0,09	0,08
Fumier	Ectype	0-20	0,2	0,2	0,028	50,7	0,02	9,04	0,17	0,07	0,01	0,24	0,33	0,28	0,21
Fumier	Ectype	20-40	0,8	0,4	0,019	27,0	0,03	6,19	0,11	0,04	0,01	0,16	0,19	0,09	0,15

4.2 LA COMPOSANTE CHIMIQUE DE LA FERTILITE DU SOL ET LA PRODUCTION VEGETALE : ROLE DES APPORTS ORGANIQUES

4.2.1 Evolution physico-chimique des sols de Bambey

4.2.1.1 Essai RMO pérenne

L'objectif de cet essai pluriannuel est de tester les effets d'une dose croissante de matière organique (compost ou fumier) sur une rotation mil-arachide. Pour notre part, nous nous avons étudié les effets et arrière-effets de ces apports sur l'état physico-chimique et biologique du sol.

4.2.1.1.1 Etat du sol de départ

L'essai a été mis en place en 1992 sur une parcelle de la station de Bambey, dans la sole nord-ouest (sole A1). Sur cette parcelle, en jachère depuis 10 ans, les analyses physico-chimiques réalisées sur ces premiers prélèvements dans les horizons 0-20 et 20-40 cm (voir Tableau IV) ont montré l'homogénéité de l'ensemble de la parcelle d'une part, et un niveau de fertilité supérieur à celui constaté sur les sols Dior de la station d'autre part.

En effet, bien que la série compost (C) semble plus riche que la série fumier (F), on constate qu'il n'existe aucune différence significative entre les caractéristiques physico-chimiques des deux séries, pas plus qu'il n'existe d'effet « bloc » au sein de chaque série, exception faite d'une valeur de phosphore assimilable supérieure aux autres (série compost, côté ouest, horizon 0-20 cm).

Par ailleurs, on observe, sur l'horizon 0-20 cm, des teneurs en carbone total (Ct) de 0.25%, en azote total (Nt) de 220 mg kg⁻¹ (des teneurs que l'on ne constate généralement, sur ce type de sol, que dans l'horizon 0-10 cm), et en phosphore assimilable (Pass) de près de 60 mgP kg⁻¹ alors que ce type de sol en compte rarement plus de 20 mg kg⁻¹. Les pH_{KCl} et pH_{eau} sont respectivement de 4.65 et 5.50 en moyenne et la capacité d'échange cationique avoisine 1.30 cmol kg⁻¹, le complexe absorbant étant essentiellement saturé par le Ca et, dans une moindre mesure, le Mg.

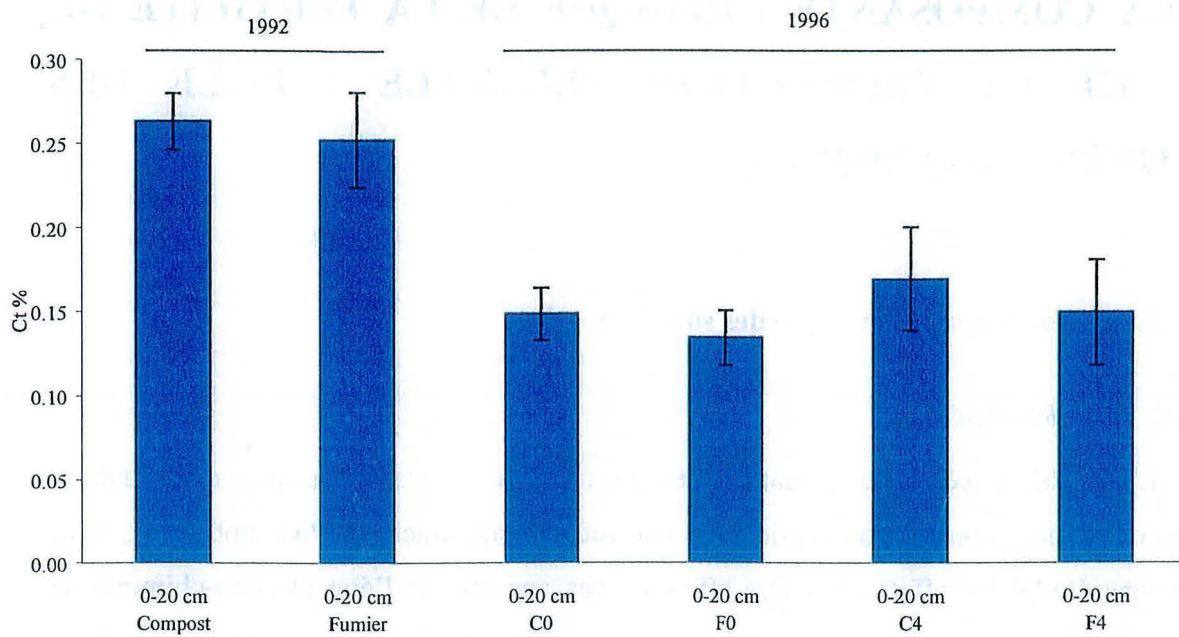


Figure 8 : Evolution de la teneur en carbone total (Ct en %) sur l'essai RMO pérenne de Bambeï entre 1992 et 1996 (moyenne et écart-type).

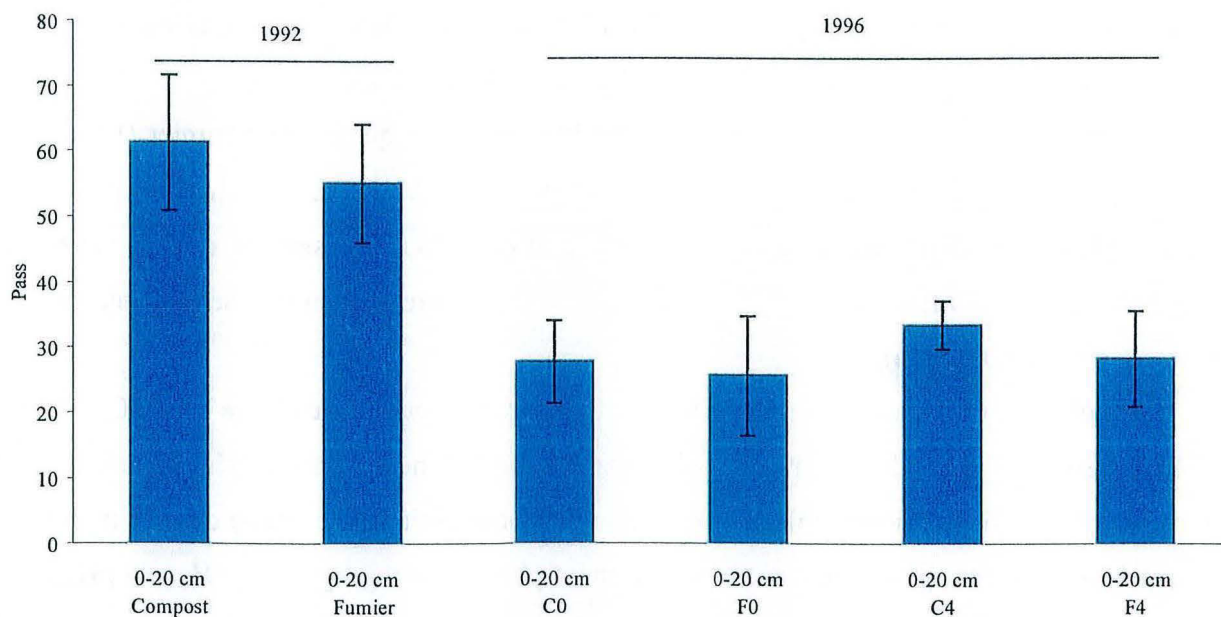


Figure 9 : Evolution de la teneur en phosphore assimilable (Pass en mg kg⁻¹) sur l'essai RMO pérenne de Bambeï entre 1992 et 1996 (moyenne et écart-type).

L'horizon 20-40 cm est, comme attendu, nettement moins riche en matière organique (Ct et Nt) que l'horizon 0-20 cm. En effet, les teneurs en Ct et Nt représentent les 2/3 de celles de l'horizon 0-20 cm. Et si les teneurs en P total sont quasi identiques dans les deux horizons, les teneurs en Pass et en cations sont inférieures de 20 à 30% dans l'horizon 20-40 cm. Cet horizon présente également une très forte homogénéité entre les séries. Cette homogénéité de la parcelle d'essai et la mise en place, pour chaque série, d'un témoin sans apport de compost ou de fumier autorise les comparaisons entre les deux types de fumure organique.

4.2.1.1.2 Etat du sol après deux rotations (4 ans) (voir annexe 1)

Les prélèvements effectués en 1992 portant sur des horizons de 20 cm d'épaisseur et ceux de 1996 sur des horizons de 10 cm (jusqu'à 40 cm uniquement), nous avons, pour pouvoir comparer ces deux états, calculé pour 1996 la moyenne des résultats des analyses des horizons 0-10 et 10-20 cm d'une part et 20-30 et 30-40 cm d'autre part, et ce pour les traitements analysés c'est-à-dire les plus contrastés : C0, F0, C4 et F4. Cette moyenne arithmétique est permise puisque la densité apparente de chaque couche est identique (de l'ordre de 1.5), comme l'ont mesuré Charreau et Nicou (1971).

En 4 années d'essais, et malgré les apports de fumure minérale et organique, le sol s'est nettement appauvri (Tableau V) puisque ont été perdus, dans l'horizon 0-20 cm, 34 à 48% du Ct initial (Figure 8), 20 à 30% de Nt et 46 à 55% du Pass (Figure 9), les pertes les plus importantes correspondant aux traitements sans apport organique, ces apports ayant permis une atténuation de la dégradation du sol. Dans la même période, si le pH_{eau} n'a pas évolué dans le cas des traitements C4 et F4, il a perdu 0.3 à 0.4 unités pour les témoins sans matière organique. Cette baisse est plus accentuée pour le pH_{KCl} où l'on observe -0.5 unités en moyenne pour les traitements C4 et F4 et -0.75 unités pour C0 et F0. Le complexe d'échange est, lui aussi, affecté par la remise en culture de la parcelle et la mise en œuvre des traitements. En effet, la CEC et le calcium diminuent de 21 à 27% pour C0 et F0, et de 6 à 19% pour C4 et F4.

Tableau V : Caractéristiques physico-chimiques moyennes observées en 1992 et 1996 sur l'horizon 0-20 cm et comparaison des moyennes (effet année) par le test de Student.

		Granulométrie	M.O.S		Pass	Complexe d'échange cmol (+) kg ⁻¹					pH		
		Argiles + Limon fins %	Ct %	Nt mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	Ca	Mg	K	Na	S	CEC	KCl	eau
1992	Compost	4.7	0.26	230	61.2	0.66	0.25	0.12	0.01	1.03	1.26	4.72	5.56
	Fumier	4.7	0.25	202	54.9	0.72	0.24	0.12	0.01	1.09	1.32	4.58	5.47
1996	C0	6.3	0.15	160	27.6	0.49	0.18	0.06	0.01	0.75	0.97	3.86	5.18
	F0	5.1	0.13	155	25.5	0.57	0.20	0.06	0.01	0.83	1.04	3.94	5.18
	C4	5.2	0.17	184	33.3	0.62	0.31	0.07	0.01	1.01	1.11	4.14	5.38
	F4	5.2	0.15	155	28.1	0.61	0.25	0.08	0.01	0.94	1.07	4.20	5.50
	p	ns	***	***	***	**	ns	***	*	**	***	***	*

ns : les valeurs ne sont pas significativement différentes à p= 0.05

* : les valeurs sont significativement différentes à p = 0.05

** : les valeurs sont significativement différentes à p = 0.01

*** : les valeurs sont significativement différentes à p = 0.001

Pour l'horizon 20-40 cm, l'évolution est, comme attendu, moins marquée. En effet, seule est à noter une perte en Ct de l'ordre de 17% entre 1992 et 1996, la teneur en Nt et le pH_{KCl} ne variant pas.

Les effets des traitements sur l'horizon 0-10 cm après ces deux rotations sont résumés dans le Tableau VI.

Tableau VI : Comparaison, après quatre années de traitements, des caractéristiques chimiques de l'horizon 0-10 cm des traitements « extrêmes » (effets « dose », « série » et « bloc ») - Résultats du test de comparaison sur les moyennes (Newman-Keuls).

Facteurs		MOS		Pass	Complexe d'échange cmol (+) kg ⁻¹				pH	
		Ct %	Nt mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	Ca	Mg	K	CEC	KCl	eau
Dose	0t	0.15 b	171 b	31.1 a	0.51 b	0.18 b	0.07 b	0.90 b	3.90 b	5.13 b
	6t	0.18 a	193 a	33.7 a	0.68 a	0.28 a	0.08 a	1.08 a	4.30 a	5.52 a
	p	**	**	ns	**	***	**	**	***	***
Série	C4	0.18 a	191 a	31.4 a	0.59 a	0.25 a	0.07 a	0.99 a	4.08 a	5.31 a
(type	F4	0.16 b	173 b	33.3 a	0.60 a	0.21 b	0.07 a	1.00 a	4.12 a	5.34 a
d'apport)	p	*	**	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
Dose*Série	p	ns	*	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
Bloc	p	ns	ns	**	ns	ns	*	ns	*	ns

p : seuil de significativité

ns : les valeurs ne sont pas significativement différentes à p= 0.05

* : les valeurs sont significativement différentes à p = 0.05

** : les valeurs sont significativement différentes à p = 0.01

*** : les valeurs sont significativement différentes à p = 0.001

L'analyse statistique portant sur les caractéristiques physico-chimiques de l'horizon 0-10 cm montre l'homogénéité de l'ensemble de l'essai (absence d'effet « bloc »), à l'exception du Pass, du K échangeable et du pH_{KCl} qui présentent un faible gradient.

Les caractéristiques texturales déterminées sur les échantillons prélevés en 1996 ne montrent pas de différences entre traitements. Bien que Na, Al, Mn, H et pH_{cob} aient été déterminés sur ces échantillons, ils ne figurent pas non plus dans ce tableau car ils n'apportent pas d'information complémentaire. Par ailleurs, les différences entre séries ne concernent que C4 et F4, les témoins, C0 et F0, étant homogènes. L'effet de la dose de matière organique est hautement, voire très hautement significatif sur la quasi totalité des caractéristiques chimiques des sols, à l'exception du Pass, du Na et du Mn. L'apport de $6\text{t ha}^{-1} 2\text{ans}^{-1}$ de fumier ou de compost permet d'avoir, dans l'horizon 0-10 cm, 21 à 25% de Ct supplémentaire par rapport aux témoins (respectivement pour F4 et C4) et 21% de Nt en plus sur C4 (il n'existe pas d'effet dose significatif du fumier sur Nt, d'où la présence de l'interaction dose*série, pour les données individuelles utilisées pour ces calculs on se reportera à l'annexe 2). L'impact de la matière organique apportée est également visible sur le complexe d'échange, notamment sur le calcium (+43% pour C4 et +22% pour F4) et par conséquent sur la somme des cations, dans les mêmes proportions. L'évolution de la CEC est, certes, positive mais moins marquée (+27% pour C4 et +12% pour F4). L'acidité est également réduite et associée à une diminution de Al et H échangeables. Toutefois, il convient de préciser que les risques liés à l'acidification restent limités après quatre ans de culture sur les témoins C0 et F0.

Par ailleurs, on notera que les deux lots de trois blocs tirés au sort pour les prélèvements de suivi des caractéristiques biologiques du sol pour les campagnes 1996 et 1997 ne présentent pas de différences significatives par rapport à la moyenne des six blocs (voir annexe 2) et que les observations qui y seront réalisées sont donc représentatives de l'ensemble de l'essai (3.1.2.1.2, 3.1.2.1.4).

Pendant ces 4 premières années de remise en culture, le sol a donc connu une importante dégradation de ses caractéristiques chimiques que deux apports de 6t MS ha^{-1} (1992 et 1994) de compost ou de fumier ont à peine atténuée.

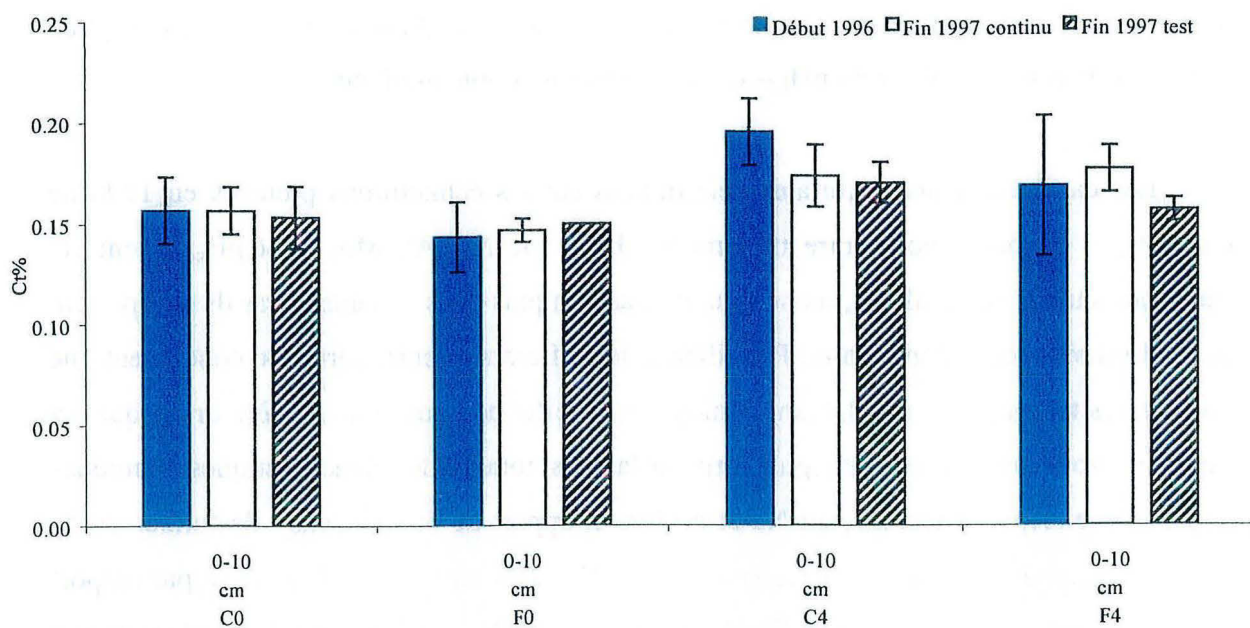


Figure 10 : Evolution de la teneur en carbone total (Ct en %) des sols de l'essai RMO pérenne entre 1996 avant campagne et 1997 après campagne (moyennes et écarts-types).

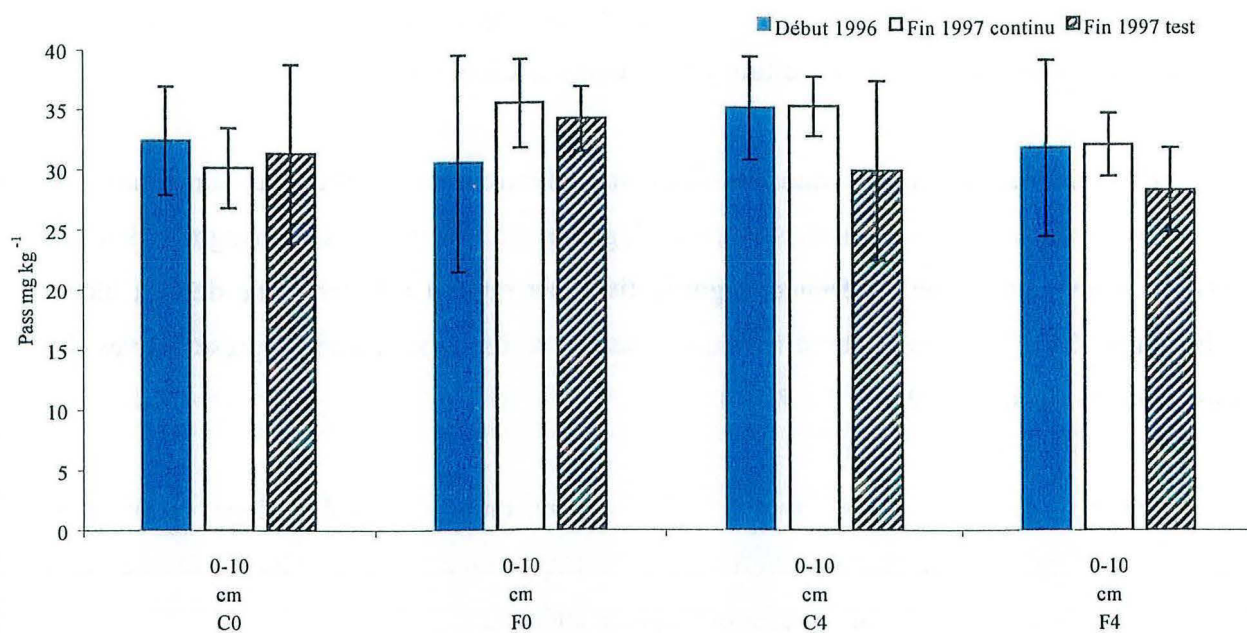


Figure 11 : Evolution de la teneur en phosphore assimilable (Pass en mg kg⁻¹) des sols de l'essai RMO pérenne entre 1996 avant campagne et 1997 après campagne (moyennes et écarts-types).

4.2.1.1.3 Etat du sol après trois rotations (6 ans)

Rappelons qu'en 1996 (avant campagne) chaque parcelle de l'essai RMO pérenne a été subdivisée en deux : une placette (dite « continu ») permettant la poursuite du traitement mis en place depuis 1992 et une placette (dite « test ») permettant d'estimer les effets résiduels (ou arrière-effets) des 4 premières années de traitement. Entre juin 1996 (avant subdivision) et décembre 1997 (fin deuxième campagne après subdivision représentant une rotation complète, voir annexe 3 pour les résultats détaillés permettant de vérifier les évolutions), le sol a nettement moins évolué qu'au cours des 4 premières années (Figures 10 et 11). En effet, si l'on compare les placettes pour lesquelles les traitements ont été maintenus, la teneur en Ct n'a pas évolué, ni le Ca échangeable, la somme des bases S, la CEC ou encore le pH_{KCl} et le pH_{eau} . On note cependant une augmentation hautement significative de la teneur en Nt (à l'exception de C4) allant de 12% pour F0 (soit 18 kgN ha^{-1}), à 17% pour C0 (soit 25.5 kgN ha^{-1}) et 27% pour F4 (soit 40.5 kgN ha^{-1}), augmentation probablement favorisée par la culture de l'arachide lors de cette campagne. Il semble donc que l'on ait atteint un nouvel état d'équilibre du sol, bien que celui-ci se situe à un niveau nettement inférieur à celui existant avant la remise en culture.

Les arrière-effets (ou effets résiduels) des traitements (apports de matière organique ou non associant toujours une fumure minérale starter et un labour) peuvent être classés dans trois catégories selon que l'on a comparé placettes « test » et « continu » à doses équivalentes ou l'effet dose pour « test »/« test » ou « continu »/« continu » :

- (a) l'effet résiduel cumulé de l'engrais et du labour des années précédentes sur les placettes « continu » (C0 et F0 « test » comparés à C0 et F0 « continu »),
- (b) les effets résiduels cumulés des apports de matière organique de 1992 et 1994 sur les placettes « test » (C4 et F4 « test » comparés aux témoins),
- (c) l'arrière-effet de l'apport de matière organique de 1996 qui s'ajoute aux effets résiduels précédents (C4 et F4 « continu » fin 1997 comparés aux témoins), et que l'on observe sur les placettes pour lesquelles le traitement initial a été maintenu (placettes « continu ») associant en 1997 un labour et 150 kg ha^{-1} de 8-18-27.

Voici les principaux résultats relatifs à ces arrière-effets :

(a) Il n'apparaît pas d'effet résiduel perceptible de la fumure minérale et du labour de 1996, ni d'effet direct de l'apport d'engrais et du labour de 1997 puisque, si l'on compare les placettes test et les témoins C0 et F0 continu, on ne remarque aucune différence significative,

même au risque $\alpha=0.10$. On peut donc supposer que les effets résiduels des traitements sur les caractéristiques chimiques générales des sols (on ne parle pas ici des effets sur la culture et son installation en début de campagne), lorsqu'ils existent, sont dus à l'apport de matière organique.

(b) Les effets résiduels des apports de matière organique de 1992 et 1994 sont inexistant dans le cas du compost (aucune différence significative), et très réduits dans le cas du fumier où ils ne sont significatifs que sur Mg et les différents pH et, dans une moindre mesure (au seuil $p=0.10$), sur Ca et Al. Ces effets résiduels, faibles, se situent donc uniquement au niveau du complexe d'échange et du pH.

(c) Qu'il s'agisse du compost ou du fumier, il existe toujours, après la campagne 1997, un arrière-effet de l'apport réalisé en 1996. En effet, l'effet « dose » est toujours significatif, sur Ct, Pass, K, Na et Al pour le compost (avec respectivement +11% pour Ct, +17% pour Pass, +32% pour K et -56% pour Al). De même, on observe un effet significatif du fumier sur Nt et sur le complexe absorbant (avec respectivement + 18% pour Nt, +88% pour Ca, +92% pour Mg, +52% pour K, -43% pour Al), un effet hautement significatif sur le pH_{KCl} et le pH_{eau} (avec +0.4 et +0.5 unités respectivement) et un effet très hautement significatif sur H (-55%). L'effet du fumier est plus durable, à dose équivalente, que celui du compost, ce qui pourrait être expliqué par des compositions respectives différentes (Tableau VII).

Tableau VII : Compositions respectives (en % de la MS, sauf ratios) du fumier et du compost apportés en 1996 .

	N	P	K	Ca	Mg	C	Silice	C/N
Fumier	1.980	0.471	2.301	2.630	0.948	30.1	29.1	15.2
Compost	1.730	0.497	1.284	2.484	0.855	19.6	56.7	11.3

	Weende		Van Soest			Polyphénols		Ratio (L+P)/N
	Cellulose brute	Hemicellulose	Cellulose	Lignine (L)	Total fibres	Solubles	Totaux (P)	
Fumier	21.09	6.93	15.26	17.33	39.52	0.21	0.42	9.0
Compost	3.35	4.41	4.95	10.85	20.21	0.04	0.09	6.3

A dose équivalente, les apports sont plus importants dans le cas du fumier en ce qui concerne le C (+630 kg pour 6 tMS ha⁻¹ soit +54% par rapport au compost) et le K (+61 kg pour 6 tMS ha⁻¹ soit +79% par rapport au compost). Les autres éléments sont présents en quantités quasi identiques dans les deux types de produits. Le fumier présente une proportion de fibres près de deux fois supérieure à celle du compost, notamment sous forme de lignine et de cellulose. De plus, le C/N du fumier, bien que plus élevé que celui du compost, reste toutefois suffisamment bas pour favoriser la minéralisation de N plutôt que son

Tableau VIII : Moyennes et écarts types des caractéristiques physico-chimiques des parcelles de l'essai RMO annuel de la station de Bambey avant campagne et à la clôture de l'essai (juin et décembre 1997).

Placette et bloc	Horizon	Stade	Granulométrie (%)			Matière organique		Passimilable	Complexe d'échange (cmol kg ⁻¹)									pH		
			Argiles	Limons fins	Sables	C	Nt		Ca	Mg	K	Na	Mn	Al	H	pHcob	S	CEC	pHKCl	pHeau
	cm		0-2 µm	2-20 µm	20-2000 µm	%	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹												
Moyennes																				
Début	0-10	initial	3,8	1,3	94,9	0,35	403	25,56	1,01	0,39	0,14	0,02	0,03	0,01	0,01	5,58	1,56	1,64	5,23	6,14
T0	0-10	final	3,6	1,2	95,2	0,21	274	19,16	0,70	0,27	0,08	0,01	0,02	0,01	0,02	5,08	1,06	1,13	4,63	5,84
T1	0-10	final	3,8	1,1	95,1	0,22	308	19,72	0,77	0,27	0,08	0,01	0,02	0,02	0,02	5,00	1,13	1,21	4,58	5,75
C4	0-10	final	3,6	1,3	95,2	0,24	313	26,59	0,85	0,33	0,08	0,01	0,02	0,01	0,01	5,24	1,26	1,30	4,80	5,93
F4	0-10	final	3,9	1,1	95,1	0,24	324	24,44	0,90	0,36	0,08	0,01	0,02	0,01	0,01	5,23	1,34	1,44	4,83	5,98
Ecart à la moyenne																				
6 blocs	0-10	initial	0,42	0,23	0,57	0,032	45	2,64	0,07	0,05	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,09	0,11	0,17	0,08	0,08
T0	0-10	final	0,63	0,29	0,43	0,007	9	1,77	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,08	0,04	0,04	0,08	0,21
T1	0-10	final	0,28	0,37	0,26	0,017	41	0,92	0,08	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,08	0,12	0,14	0,13	0,08
C4	0-10	final	0,22	0,19	0,38	0,024	22	3,72	0,07	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,13	0,10	0,12	0,13	0,04
F4	0-10	final	0,34	0,25	0,26	0,045	31	1,40	0,11	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,16	0,17	0,22	0,13

immobilisation (<20). Enfin, le ratio (L+P)/N de ce fumier, compris entre 8 et 10, laisse supposer que sa minéralisation sera plus lente que celle du compost. Cette combinaison de résultats expliquerait donc l'arrière-effet plus prononcé du fumier.

Par ailleurs, on notera que les apports de 6 tMS ha⁻¹ de fumier ou de compost réalisés en 1996 représentent 1.8 et 1.2 t C ha⁻¹ respectivement pour le fumier et le compost, soit 71 et 39 % du Ct présent en moyenne sur F4 et C4 dans l'horizon 0-10 cm (Ct : 0.17 et 0.20% respectivement pour F4 et C4 continu). La teneur en Ct n'ayant pas évolué au cours des deux campagnes (96 et 97) qui ont suivi, cela implique qu'une quantité de C équivalente à celle apportée en 1996 a été minéralisée au cours de ces 2 années de culture sur ces traitements, ce qui, en rapport aux stocks de MOS du sol, est considérable.

4.2.1.2 Essai RMO annuel (campagne 1997)

Cet essai mis en place en 1997 vient compléter les informations fournies par l'essai RMO pérenne en précisant l'évolution des caractéristiques physico-chimiques du sol en première année de remise en culture d'une part, et plus particulièrement l'effet direct d'un apport de compost ou de fumier sur les composantes chimiques et biologiques du sol et la production végétale. Pour cet essai, les analyses ont été limitées à l'horizon 0-10 cm, c'est-à-dire l'horizon directement affecté par la mise en œuvre des traitements.

4.2.1.2.1 Etat du sol de départ

Avant campagne, les caractéristiques physico-chimiques du sol, déterminées ici sur l'horizon 0-10 cm (voir Tableau VIII et annexe 4), présentent, à l'exception du Pass, des niveaux supérieurs à ceux du sol de l'essai RMO pérenne en 1992 que l'on peut expliquer, du moins en partie, par l'effet de dilution induit par le sol de l'horizon 10-20 cm incorporé à l'échantillon en 1992 (les analyses de 1992 ont porté sur l'horizon 0-20 cm). On peut également penser que la jachère, prolongée de 5 années (soit 15 ans au total), a contribué à l'accumulation de C dans cet horizon superficiel (Detwiler, 1986 cité par Fernandes *et al.*, 1997) par l'action des racines de la végétation spontanée, essentiellement herbacée, et à la remontée de minéraux des horizons sous-jacents. L'ensemble de la parcelle comprenant les six blocs est homogène ; seul le bloc 1 présente une teneur en Ct inférieure aux autres blocs, les autres caractéristiques chimiques étant conformes à la moyenne globale.

Par rapport à l'essai RMO pérenne à la même période (1996-97), on remarque une différence allant du simple au double, à l'avantage de l'essai RMO annuel, pour tous les niveaux de la matière organique (Ct et Nt) et du complexe d'échange ; de même, les pH sont supérieurs de 1 à 1.4 unités (pour pH_{eau} et pH_{KCl} respectivement).

4.2.1.2.2 Etat du sol après une campagne

Au cours de cette seule campagne, le sol a connu une dégradation très rapide de l'ensemble de ses caractéristiques que l'on peut résumer dans le tableau suivant :

Tableau IX : Variations moyennes (en %) des caractéristiques chimiques observées en fin d'essai sur les différents traitements par rapport à l'état initial du sol de l'essai RMO annuel et résultat du test de comparaison des moyennes NK (Newman-Keuls).

	MOS		Pass mg kg ⁻¹	Complexe d'échange cmol (+) kg ⁻¹			
	Ct %	Nt mg kg ⁻¹		Ca	Mg	K	CEC
T0	-40 a	-32 a	-25 b	-31 b	-31 b	-43 a	-31 b
T1	-37 a	-24 a	-23 b	-24 ab	-32 b	-43 a	-26 ab
C4	-31 a	-22 a	+4 a	-16 ab	-15 ab	-43 a	-21 ab
F4	-31 a	-20 a	+4 a	-11 a	-8 a	-43 a	-12 a
p	ns	ns	**	*	*	ns	*
Bloc	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns : les valeurs ne sont pas significativement différentes à $p=0.05$

* : les valeurs sont significativement différentes à $p=0.05$

** : les valeurs sont significativement différentes à $p=0.01$

Traitements : T0 : témoin paysan (sans labour, sans intrants) ; T1 : équivalent à C0 et F0 (150 kg ha⁻¹ de 14-7-7 et labour) ; C4 et F4 identiques à l'essai RMO pérenne (soit T1 + 6 tMS ha⁻¹ de fumier ou de compost).

L'analyse de la texture montre l'homogénéité de la parcelle d'essai. La dégradation du sol est très importante au cours de cette première année de remise en culture, avec des pertes en matière organique comprises entre 31 et 40% pour Ct et 20 à 32% pour Nt. Ces pertes sont plus faibles pour les traitements ayant reçu un apport de fumier ou de compost (C4 et F4) par rapport aux traitements sans matière organique mais l'apport de matière organique (compost ou fumier) ne limite pas significativement les pertes. L'apport de matière organique permet de limiter significativement les pertes dans le cas du Pass, de la CEC, et par conséquent du Ca échangeable, mettant ainsi en évidence l'effet « tampon » d'apports organiques sur le complexe absorbant, sans maintenir les niveaux atteints avant la campagne. De plus, le sol présente une nette acidification (-0.4 à -0.6 unités pour pH_{KCl} et -0.15 à -0.3 unités pour pH_{eau}), plus marquée dans les traitements sans matière organique (T0 et T1), notamment sur le témoin labouré et bénéficiant d'un apport d'engrais minéral (150 kg ha⁻¹ de 14-7-7). De même, si les variations en K, Na, Mn, Al et H peuvent sembler considérables, il convient de

rappeler que les teneurs, initiales comme finales, sont extrêmement faibles. Là où les différences entre traitements existent, le traitement F4 (6 tMS fumier ha⁻¹ 2ans⁻¹) présente un léger avantage (non significatif) sur le traitement C4 probablement dû à une « valeur fertilisante » du fumier nettement supérieure à celle du compost (Tableau X).

Tableau X : Compositions respectives (en %) du fumier et du compost apportés en 1997.

	N	P	K	Ca	Mg	C	Silice (SiO ₂)	C/N
Fumier	1.780	0.406	1.549	1.880	0.768	24.2	42.8	13.6
Compost	0.830	0.299	0.541	1.582	0.583	8.2	74.2	9.9

Cet écart entre le fumier et le compost de l'année 1997, et surtout la différence de composition entre le compost épandu en 1996 (Tableau VII) et celui de 1997, peut, au-delà de la variabilité propre à ce type de produit que l'on observe également sur le fumier, être partiellement attribuée à un incident dans le processus de compostage (compostage méthanogène) et qui se traduit notamment par une forte perte en potasse. Les teneurs en silice nous font également supposer que ces matières organiques ont subi une forte pollution par de la terre.

Si l'on réalise un bilan simplifié de la MOS en tenant compte des analyses de sol effectuées et des apports dus au compost et au fumier ainsi qu'à l'engrais minéral, sachant que les stocks initiaux de Ct et Nt de l'horizon 0-10 cm sont respectivement de 5.25 t C ha⁻¹ et 604 kgN ha⁻¹, on obtient les pertes globales par traitement suivantes :

- T0 : 2.1 t C ha⁻¹ et 193 kgN ha⁻¹,
- T1 : 1.9 t C ha⁻¹ et 166 kgN ha⁻¹,
- C4 : 2.1 t C ha⁻¹ et 304 kgN ha⁻¹,
- F4 : 3.1 t C ha⁻¹ et 249 kgN ha⁻¹.

Ces pertes sont, là aussi, considérables.

Si l'on compare à présent cette évolution globale à celles de l'essai RMO pérenne pendant la période 1992-96, on constate que les variations moyennes sont relativement proches à traitements équivalents, ce qui laisse supposer que la dégradation observée entre 1992 et 1996 s'est probablement déroulée, pour l'essentiel, au cours de la première rotation mil-arachide, phase de dégradation fulgurante pendant laquelle l'impact des apports de compost ou de fumier n'est pas significatif sur les stocks de matière organique et n'est perceptible que sur le complexe d'échange. On peut alors se demander à partir de quel moment cet effet positif sur la matière organique du sol s'est réellement manifesté. Pour ce

faire, ne disposant pas d'échantillons de sol entre 1992 et 1996, nous avons utilisé les données « plante » comme un révélateur de cette évolution de la fertilité du sol.

4.2.1.3 Discussion

Evolution de la matière organique du sol

La rapide dégradation du sol observée sur les essais lors de la remise en culture est un phénomène fréquemment observé dans ces régions (Siband, 1974) (Pichot et Al Zahawe, 1977). L'évolution de la MOS des sols est très similaire à celle observée par Taonda *et al.* (1995) sur des sols du Burkina Faso 1 et 5 années de culture après une défriche. En effet, sur ce type de sols à argiles 1:1, la perte moyenne en matière organique suite à une remise en culture peut atteindre 40% du stock initial (Feller *et al.*, 1991). Suite à cette phase de dégradation, un nouvel état d'équilibre semble avoir été atteint environ 4 ans après la remise en culture. Ce processus évolutif est conforme à celui décrit par Feller et Beare (1997) selon lesquels, pour ce type de sols sableux, un nouvel état d'équilibre est atteint en 3 à 5 ans après le changement de pratique culturale à l'origine de la rupture avec l'état initial.

Le sol a donc subi deux phases d'évolution successives :

- tout d'abord une dégradation très rapide liée au changement de pratique culturale et d'une durée maximale de 4 années,
- puis une stabilisation de son état global de fertilité conduisant à un nouvel état d'équilibre situé très en deçà de celui du sol avant remise en culture.

Dommergues et Mangenot (1970) admettaient l'atteinte d'un nouvel état d'équilibre en moins de 10 années en zone intertropicale, ce que confirment nos résultats. Malgré tout, certains auteurs doutent que l'équilibre organique soit atteint après 10 ans (Chopart et Nicou, 1989).

La première phase (celle de dégradation), calculée sur les témoins C0 et F0, peut être approchée en utilisant un modèle de décroissance exponentielle (équation d'Arrhénius) :

$$C_n = C_0 e^{-kt}$$

où C_n et C_0 sont les teneurs en carbone total du sol les années n et 0 ,

on a entre 1992 et 1996 :

$$k = 0.15 \text{ et}$$

$$t_{1/2} \text{ (demi-vie de la matière organique)} = 4.62 \text{ années,}$$

Ce résultat rejoint les ordres de grandeurs proposés par Tiessen et Shang (1998) pour divers sols tropicaux (4 ans pour la fraction sableuse, 6 et 60 ans respectivement pour les fractions limoneuses et argileuses). Ganry et Guiraud (1979) ont également estimé, toujours avec l'équation d'Arrhénius, la demi-vie de la matière organique azotée d'un sol sableux de Bambey ayant reçu une fertilisation azotée à 4.6 années.

Cette dégradation du statut organique du sol s'accompagne d'une acidification du sol, plus marquée dans le cas d'apports d'engrais minéraux seuls, les apports de fumier et de compost semblant freiner ce processus.

Arrière-effets des pratiques culturales

L'absence d'effet résiduel perceptible de la fumure minérale et du labour n'a rien d'étonnant. En effet, Charreau et Nicou (1971) ont montré sur ces sols que les effets résiduels du labour sur la structure et la porosité de l'horizon labouré disparaissent après un cumul de 180 mm de pluies, ce que nous avons également pu constater en mesurant la densité apparente (d_a) en fin de campagne 1996 (voir annexe 5).

Les arrière-effets à 1 an des apports organiques sur la matière organique du sol (Ct et Nt) sont limités mais influencent plus durablement et plus intensément le complexe d'échange en réduisant notablement l'acidité et les risques de toxicité aluminique.

Les arrière-effets à 2 et 3 ans des apports de matière organique sont inexistantes dans le cas du compost et limités dans le cas du fumier où ils ne concernent que le complexe absorbant et le pH. Cette différence entre le compost et le fumier est probablement liée à leurs compositions chimiques respectives.

Qualité de la matière organique apportée

Ces différences entre compost et fumier se manifestent au niveau du C/N d'une part et du ratio (Lignine+Polyphénols totaux)/N d'autre part qui, comme le rappellent Handayanto *et al.* (1997) et Mafongoya *et al.* (1997), semble être le meilleur indicateur de la capacité de cette matière organique exogène à être minéralisée rapidement et à fournir de l'azote ; plus ce ratio est élevé, plus la vitesse de minéralisation et la fourniture de N sont faibles, notamment lorsque l'on franchi un seuil situé, selon les auteurs, entre 8 et 10. C'est précisément ce que l'on observe sur nos analyses de fumier, laissant supposer que sa minéralisation sera plus lente que celle du compost, d'où un arrière-effet plus marqué.

Tableau XI : Production kgMS ha⁻¹ mesurée sur l'ensemble des traitements de l'essai RMO pérenne de Bambey de 1992 à 1997 - rotation mil-arachide.

Année	MS totale																				
	en kg ha ⁻¹ (sauf nombre d'épis) - écart de la moyenne																				
	C0		C1		Compost C2		C3		C4		F0		F1		Fumier F2		F3		F4		
1992	7 461	452	7 269	534	7 406	241	7 679	316	7 821	360	7 035	342	7 119	384	7 463	498	7 189	361	6 920	452	
1993	4 025	276	4 316	482	4 456	238	4 388	360	4 588	569	3 905	188	3 632	252	4 607	259	4 375	407	4 322	305	
1994	2 810	523	3 297	538	3 592	538	4 011	356	4 360	859	2 975	338	3 077	410	4 757	1077	3 812	475	3 928	358	
1995	2 709	184	2 779	402	3 137	126	3 233	252	3 560	260	2 674	78	2 563	239	2 970	179	3 013	103	3 171	265	
1996	Test	1 697	335	1 724	545	1 499	379	1 536	268	2 738	493	2 072	290	2 089	434	3 202	1119	2 678	553	3 098	685
1996	Continu	3 395	797	4 304	729	5 007	784	4 906	817	4 956	901	3 790	838	4 967	761	6 553	390	6 232	534	5 243	1060
1997	Test	926	149	1 187	289	1 660	199	1 879	232	1 864	466	1 108	250	1 391	193	1 808	329	1 934	89	1 784	256
1997	Continu	1 466	348	2 202	350	2 531	409	2 623	245	2 942	445	1 408	201	2 632	325	2 888	210	3 189	170	3 186	208

4.2.1.4 *En résumé*

De l'ensemble de ces résultats on retiendra principalement :

- une dégradation extrêmement rapide (en une ou deux campagnes seulement) de la fertilité globale des sols lors de la remise en culture qui touche aussi bien la matière organique que le complexe absorbant et provoque un début d'acidification. La diminution du stock de matière organique est particulièrement spectaculaire.
- des taux de perte annuelle de matière organique très élevés sur les témoins (15% sur l'essai pérenne, calculé sur 4 années ; 40% pour l'essai RMO annuel la première année ce qui montre bien que l'essentiel de la dégradation se fait en 1 ou 2 années après la défriche),
- un effet « tampon » des composts et fumiers apportés qui ne parvient toutefois pas, à la dose de 6 tMS ha⁻¹, à stopper la dégradation observée. On notera un léger avantage du fumier sur le compost, probablement dû à une composition plus riche et à une minéralisation plus lente du fumier.
- des arrière-effets de ces apports de matière organique sur l'état du sol faibles sur les caractéristiques chimiques du sol et limités à la CEC mais plus marqués, même en 3^{ème} année, sur la BM_C et la MS totale.

4.2.2 **La production végétale comme indicateur de l'évolution du sol de Bambey**

4.2.2.1 *Evolution des rendements de l'essai RMO pérenne*

Les analyses statistiques ont été faites séparément pour la série Compost et la série Fumier. Toutefois, les niveaux de production des deux témoins, C0 et F0, étant identiques (Tableau XI et, pour l'ensemble des composantes du rendement, l'annexe 6) quelle que soit l'année considérée, les comparaisons entre compost et fumier sont possibles. Ces résultats sont d'ailleurs en accord avec l'homogénéité de l'ensemble de la parcelle constatée lors de la mise en place de l'essai.

Première rotation

Lors de la première année de mise en œuvre des traitements (1992), la production du mil ne présente aucune différence significative, quelle que soit la dose de matière organique apportée.

La seconde année (1993) est celle des premiers arrière-effets sur l'arachide de la matière organique apportée en 1992. Là aussi, les niveaux de production sont élevés mais une première différenciation apparaît. En effet, sur le compost la seule différence significative apparaît pour une dose de compost inférieure à 3 tMS ha⁻¹ (gousses). L'effet du fumier est généralisé à l'ensemble des paramètres de la production à partir de 3 tMS ha⁻¹.

Cette première rotation se caractérise donc par des niveaux de production élevés et un arrière-effet de la matière organique uniquement pour des apports dépassant 1.5 tMS ha⁻¹.

Seconde rotation

Lors du second apport de matière organique (1994), le compost induit une réponse croissante et continue à mesure que la dose augmente de 0 à 6 tMS ha⁻¹. La dose maximum conduit, par rapport au témoin, à un gain de production de 55% sur la MS totale. La réponse au fumier est un peu différente dans la mesure où l'on atteint un maximum à la dose de 3 tMS ha⁻¹, suivi d'une tendance à la baisse pour F3 et F4 (pas de différences significatives). De plus, la réponse aux doses croissantes fumier n'a pas l'aspect progressif observé avec le compost, le passage à la dose 3 tMS ha⁻¹ conduisant à un accroissement brutal de la production (+57% de MS totale). Toutefois, ces niveaux de production sont nettement inférieurs à ceux observés en 1992.

L'année suivante (1995), la culture d'arachide de la série compost présente le même type de réponse que le mil de l'année précédente avec, toutefois, une nette atténuation des gains de production et, dans le meilleur des cas (C4), +31% de MS totale par rapport au témoin (C0). Une dose croissante de fumier a un effet très hautement significatif sur la MS totale.

Au cours de cette seconde rotation, on a pu observer une plus grande différenciation des traitements. Dans les deux séries, seul un apport supérieur ou égal à 3 tMS ha⁻¹ a eu un impact positif sur la production végétale. L'effet résiduel de la matière organique est à présent notable sur l'ensemble de la production arachidière, ce qui n'était pas encore le cas lors de la première rotation. Le maximum est à 6 tMS ha⁻¹ pour le compost, tant en effet direct qu'en arrière-effet. Pour le fumier, le maximum est atteint avec 3 tMS ha⁻¹ en effet direct, et entre 3 et 6 tMS ha⁻¹ en effet résiduel. Malgré l'effet positif de la fumure organique, les niveaux de

rendement de cette rotation se situent nettement en dessous de ceux atteints pendant les deux premières années de culture.

Troisième rotation

C'est lors de la troisième rotation que nous avons introduit la subdivision des placettes. Dans la configuration « continu », où les traitements sont maintenus et permettent d'évaluer l'effet cumulatif, les gains de production par rapport aux témoins sont plus importants qu'en 1994, notamment sur la série fumier où l'on tend à se rapprocher de la production de 1992 (F2). En 1996, il semble que la production végétale soit inférieure dans la série compost, ce qui est probablement dû à la « valeur fertilisante » moindre du compost par rapport à celle du fumier épandu en 1996 (voir § 4.2.1.1.3). Dans les deux séries, la dose optimale semble se situer à 3 tMS ha⁻¹ avec, au-delà, un palier voire une tendance à la baisse (F4 notamment). En effets résiduels sur arachide (1997), on n'observe de différence significative sur le rendement gousses qu'entre les témoins d'une part et les placettes avec matière organique d'autre part. Cette différenciation n'apparaît que sur la production de fanes et la MS totale d'où ressortent les doses de 4.5 et 6 tMS ha⁻¹ pour le fumier et la dose de 6 tMS ha⁻¹ pour le compost.

Sur les placettes « test » (ne bénéficient d'aucun labour, ni apport d'engrais NPK et de matière organique en 1996 et 1997), la différence de rendement entre témoin « continu » et témoin « test » permet d'évaluer l'impact du labour associé à la faible fumure NPK sur la production végétale qui est, en moyenne (C0 et F0 confondus), de +763 kg ha⁻¹ pour le rendement grains en 1996 et de +146 kg ha⁻¹ pour le rendement gousses en 1997. Dès l'arrêt des traitements, la production s'effondre. En effet, sur la série compost, le témoin C0-test rejoint la moyenne régionale des rendements paysans. Les traitements C1, C2 et C3 ne sont pas différents du témoin. Seul C4 se distingue tout en restant très en-deça des rendements obtenus sur C4-continu et C0-continu. Pour le fumier, les placettes ayant reçu un apport en 1992 et 1994 tendent à se différencier du témoin et on retrouve une réponse « en cloche » avec un optimum à 3 tMS ha⁻¹. Il semble donc que le fumier présente une plus grande rémanence puisque ses effets résiduels sur les rendements grains sont visibles, même pour des doses inférieures à 6 tMS ha⁻¹, et plus importants, en termes de gain. En seconde année « test » (1997), l'écart entre « test » et « continu » se réduit puisque l'arachide « continu » est elle-même sur un arrière-effet de la matière organique apportée en 1996 et ne bénéficie que d'un labour et de l'engrais NPK. Dans les deux séries, la différenciation intervient au passage de la dose 1.5 tMS ha⁻¹ à la dose 3 tMS ha⁻¹.

Tableau XII : Production et exportations minérales relevées sur la culture de mil de l'essai RMO annuel de Bambey en 1997.

Placette	Bloc	RECOLTE																	
		Epis totaux		Production (kg ha ⁻¹)			Exportations totales (kg ha ⁻¹)												
				Grains	Pailles	MS totale	N	P	K	Ca	Mg								
T0	1	85 938		1 250	1 617	3 398	67,5	7,7	39,4	6,8	14,5								
T1	1	102 188		1 527	2 646	4 958	89,9	7,0	89,8	11,9	21,0								
C4	1	88 125		1 015	2 843	4 531	85,8	6,5	80,5	12,5	19,6								
F4	1	93 750		1 093	3 185	5 154	85,2	6,9	94,5	16,7	26,9								
T0	2	78 438		710	1 750	3 000	48,2	3,9	40,2	8,0	15,8								
T1	2	91 250		1 372	2 531	4 750	86,0	7,9	85,9	13,5	21,6								
C4	2	106 563		1 215	3 638	5 888	116,8	9,7	124,8	16,6	29,5								
F4	2	93 125		1 574	3 465	6 308	116,1	10,6	122,7	17,2	27,5								
T0	3	74 063		783	2 447	3 791	64,2	5,3	83,4	13,3	19,4								
T1	3	101 250		1 414	2 914	5 164	93,5	7,6	95,4	16,2	24,8								
C4	3	104 375		1 266	2 652	4 652	91,0	9,0	113,1	20,1	24,3								
F4	3	111 250		1 499	2 732	5 045	74,8	7,2	100,4	11,8	18,8								
T0	4	84 688		978	2 259	3 884	66,3	4,5	64,5	11,8	21,3								
T1	4	80 000		1 192	2 706	4 643	63,6	7,4	67,6	10,8	20,3								
C4	4	89 063		1 019	2 458	4 146	64,3	5,9	72,7	12,8	22,1								
F4	4	92 813		1 299	2 949	5 230	106,9	8,1	98,6	15,2	25,9								
T0	5	80 938		1 297	2 063	3 656	68,3	6,1	75,6	9,5	16,7								
T1	5	85 313		650	2 042	3 323	53,9	3,7	41,3	9,5	19,5								
C4	5	85 938		1 342	3 053	5 116	80,6	6,0	110,2	13,8	24,9								
F4	5	97 188		1 034	3 093	5 437	91,4	5,6	106,8	16,9	29,4								
T0	6	82 500		953	2 297	3 922	51,3	4,8	80,9	9,3	18,6								
T1	6	69 063		1 230	2 353	4 290	72,6	6,4	95,0	12,9	18,1								
C4	6	90 625		906	2 650	4 213	70,1	5,5	62,7	10,7	21,2								
F4	6	88 750		1 418	2 884	5 353	104,7	10,3	78,4	14,9	25,1								
Moyenne - écart de la moyenne																			
T0		81 094	3 281	995	186	2 072	262	3 609	273	61,0	7,5	5,4	1,0	64,0	16,1	9,8	1,9	17,7	2,0
T1		88 177	10 052	1 231	207	2 532	223	4 522	477	76,6	13,2	6,7	1,1	79,2	16,5	12,5	1,7	20,9	1,6
C4		94 115	7 569	1 127	147	2 882	309	4 757	496	84,8	13,1	7,1	1,5	94,0	22,0	14,4	2,6	23,6	2,6
F4		96 146	5 382	1 319	178	3 051	196	5 421	301	96,5	12,7	8,1	1,6	100,2	9,7	15,4	1,5	25,6	2,4

Les exportations minérales globales ont été quantifiées en 1996 et 1997 et peuvent être considérées comme un reflet de la disponibilité des nutriments du sol pour la culture (annexes 7 et 8). En effet, elles confirment les résultats déjà obtenus sur la MS totale.

4.2.2.2 *Les rendements de l'essai RMO annuel*

Dans cet essai qui ne reprend que les doses extrêmes de matière organique de l'essai RMO pérenne (0 et 6 tMS ha⁻¹), figure un traitement qui n'existait pas sur l'essai pérenne, le « témoin paysan » : T0, ne bénéficiant ni d'un labour ni d'un apport d'engrais starter NPK ou de fumure organique. Quant à T1, il reproduit C0 et F0 de l'essai pérenne. Cette campagne s'est déroulée dans des conditions particulières avec un semis très tardif (19 août 1997).

Malgré cette campagne quelque peu chaotique et un bilan hydrique défavorable (Figure 12), on a relevé sur le témoin paysan T0 un rendement grains (voir Tableau XII) proche d'1 t ha⁻¹ ce qui représente 1.8 fois le rendement moyen national des 25 dernières années (voir § 2.2.2) et surtout 8.3 fois le rendement moyen obtenu sur nos essais en milieu paysan cette année-là dans la même zone à traitement identique (voir § 5.3.4). La production de MS totale sur T0 est significativement inférieure à celle des traitements labourés avec engrais starter NPK, qu'ils bénéficient, ou pas, d'une fumure organique. Même si les différences ne sont pas systématiquement significatives, globalement, la production végétale croît de manière progressive selon l'ordre :

T0 → T1 → C4 → F4

On retrouve ce classement dans les exportations minérales où le passage de T0 à F4 (significativement différents pour N, K, Ca et Mg) se traduit par un accroissement des prélèvements de 44% pour Mg et 57% pour N, K et Ca.

4.2.2.3 *Discussion*

Si l'on fait l'hypothèse que l'évolution de la fertilité du sol pendant la durée de l'essai RMO pérenne est un facteur plus important que les variations interannuelles de la pluviométrie dans l'évolution des rendements entre 1992 et 1997 (hypothèse acceptable vu la pluviométrie et surtout les bilans hydriques des différentes campagnes - Figures 13 et 14) on

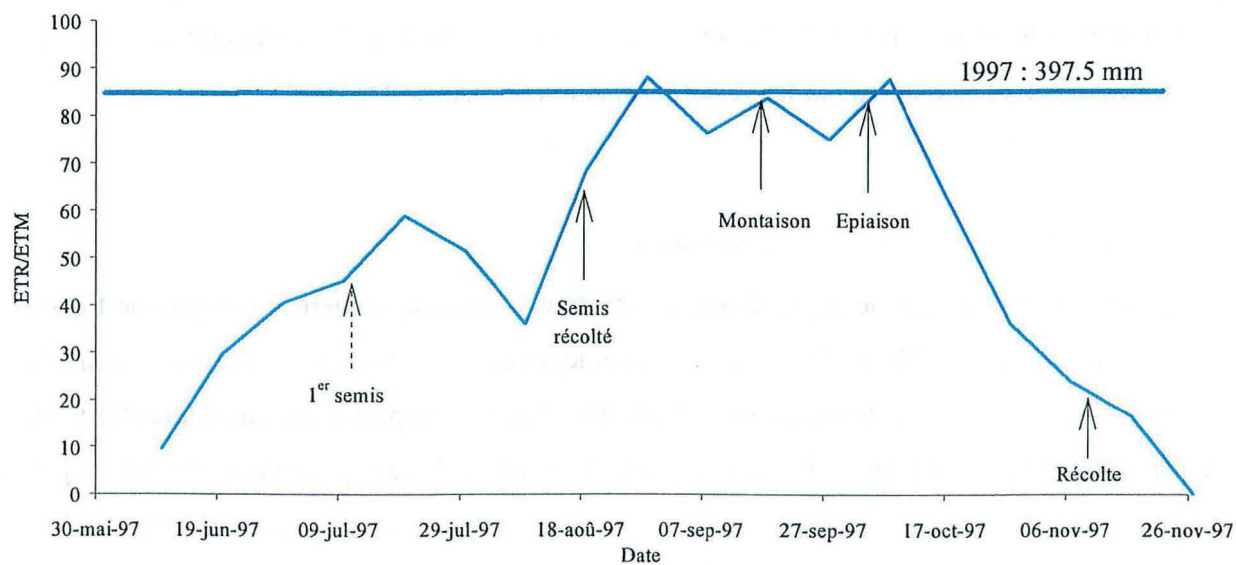
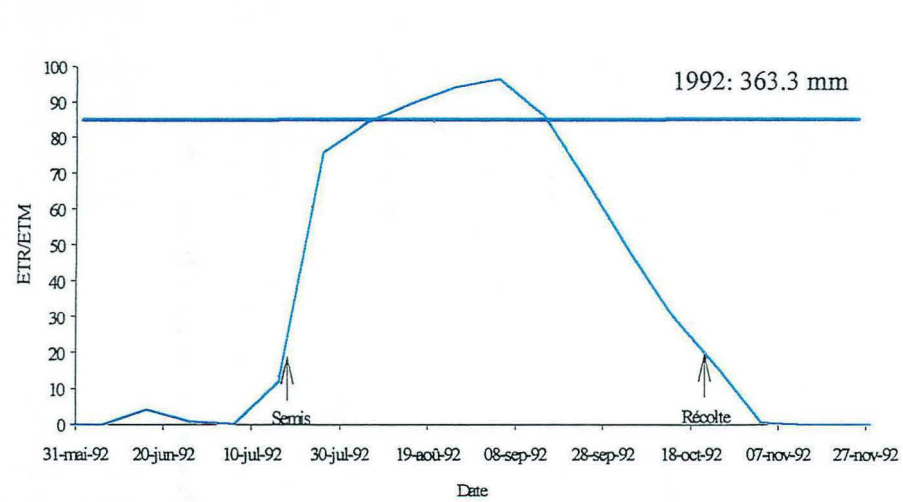
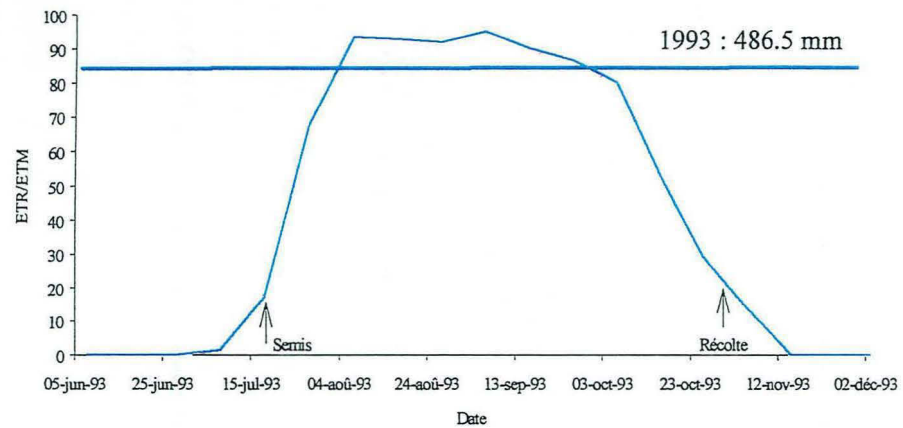
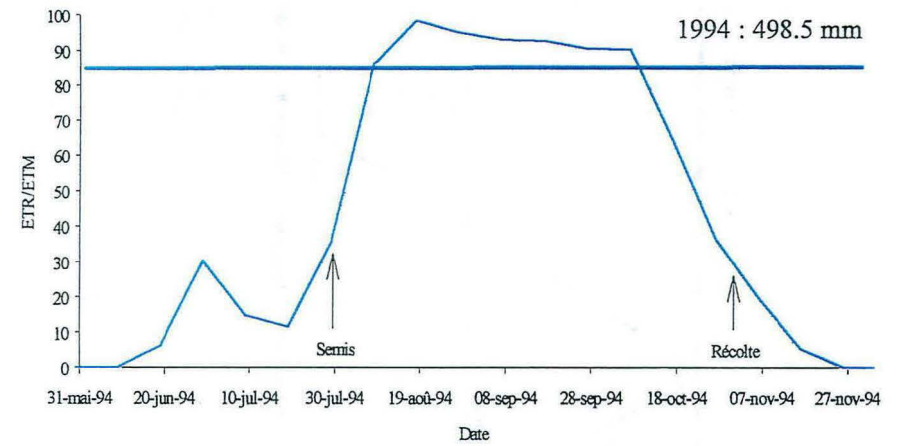


Figure 12 : Bilan hydrique simulé de la culture de mil Souna III pour l'essai RMO annuel de Bambey, campagne 1997.



Mil



Arachide

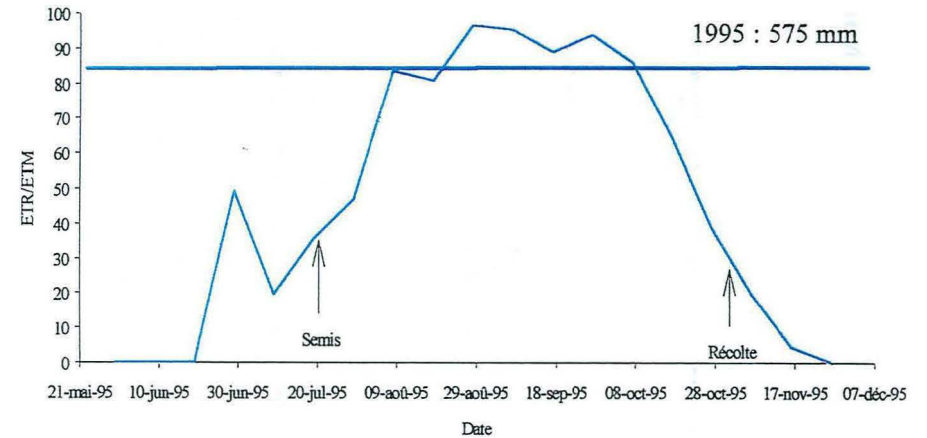


Figure 13 : Bilans hydriques simulés pour les campagnes 1992 à 1995 sur l'essai RMO pérenne de Bambey.

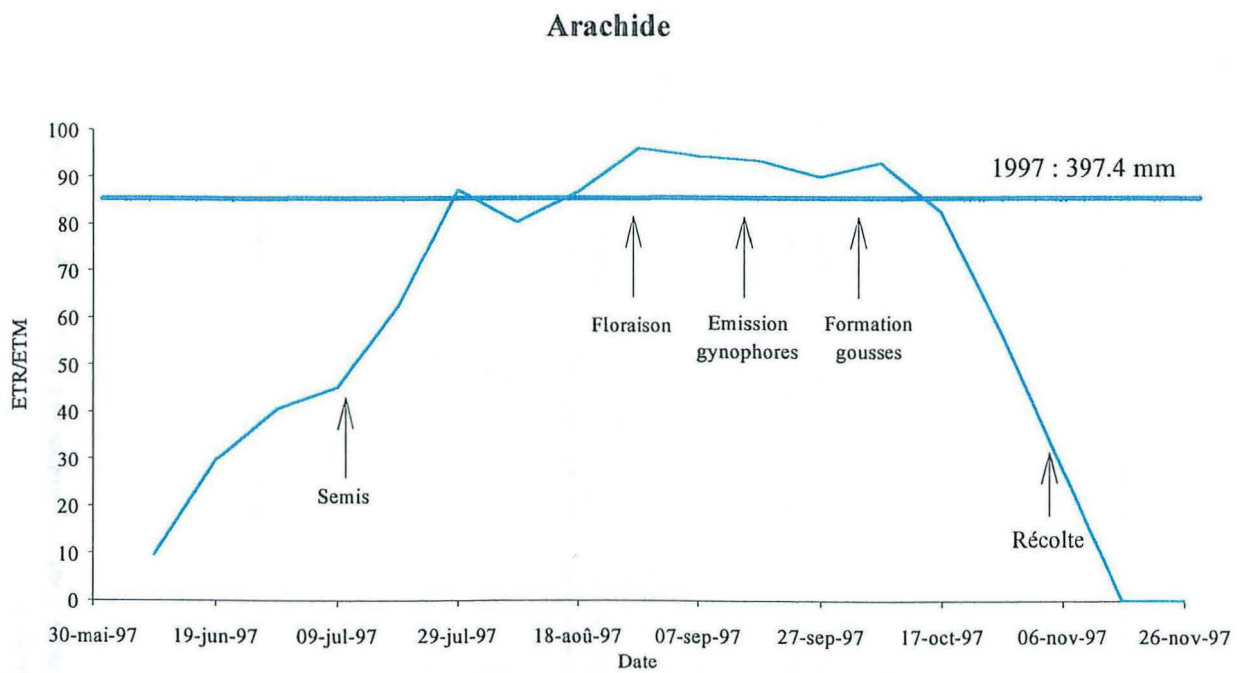
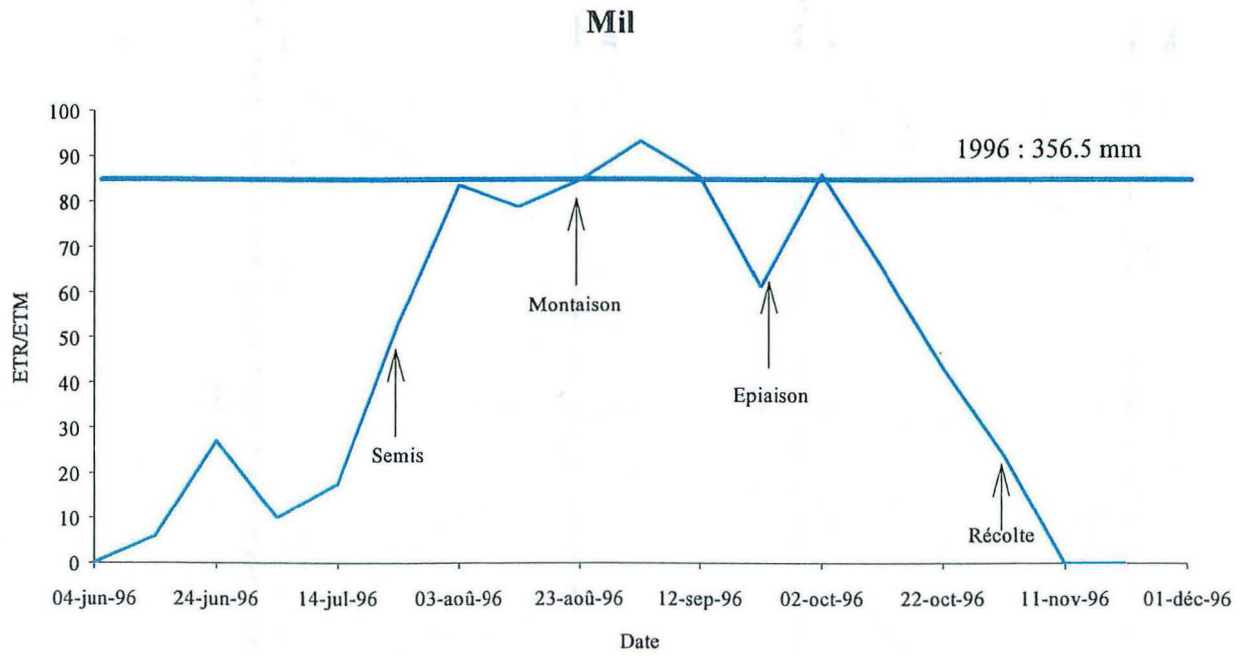


Figure 14 : Bilans hydriques simulés pour l'essai RMO pérenne de Bambey, campagnes 1996 et 1997.

retrouve les conclusions des analyses de sol, à savoir un état de fertilité de départ relativement élevé permettant, même dans le cas d'une culture sans apport de matière organique, d'obtenir de forts rendements pendant cette phase de dégradation rapide du sol et de sa matière organique (qui semble se produire au cours de la première rotation), puis, une fois atteint un nouveau « plancher » de fertilité, bien inférieur à celui de départ, voir apparaître l'effet positif de l'amendement organique, tant sur les caractéristiques physico-chimiques du sol que sur la production végétale, sans toutefois atteindre les niveaux initiaux.

Les observations sur la production végétale de l'essai RMO annuel recourent celles relatives à l'évolution du sol pendant cette campagne pour laquelle nous avons déjà remarqué que la dégradation était la plus accentuée pour le traitement T0 et moindre dans le cas d'apports organiques, le fumier présentant un léger avantage par rapport au compost, avantage probablement dû à sa plus grande richesse. A l'instar de l'essai pérenne, l'essai RMO annuel confirme que la dégradation du sol survient essentiellement au cours de la première année de remise en culture pendant laquelle l'effet d'une fumure organique sur les caractéristiques physico-chimiques du sol reste discret. De plus, comme sur l'essai pérenne, la production végétale a été très élevée compte tenu des conditions particulières de cette campagne, notamment un bilan hydrique déficitaire sur la quasi totalité du cycle dû au semis très tardif. Cette période de forte productivité végétale correspond à la phase de dégradation rapide du sol, la culture semble donc avoir bénéficié des produits de la minéralisation de la matière organique du sol. Ceci rejoint les conclusions de Ganry et Cissé (1994), qui ont déjà démontré qu'à Thilmakha (isohyète 300 mm) un niveau de fertilité élevé sur sol sableux permettait de sécuriser la production en cas de sécheresse.

4.2.2.4 *En résumé*

On retiendra les points suivants :

- un niveau de fertilité élevé est une assurance contre les préjudices de la sécheresse,
- la remise en culture s'accompagne de forts niveaux de production végétale pendant une courte période n'excédant pas la première rotation (deux années),
- la diminution rapide des rendements et de la production végétale globale, observée sur après les deux premières années, rejoint l'importante dégradation remarquée au niveau des sols, ce qui nous fait dire que l'évolution de la MS totale a bien joué son rôle d'indicateur global de la fertilité du sol,

- l'effet positif des apports de matière organique sur la culture n'est perceptible qu'après la première rotation, période à laquelle l'essentiel de la dégradation du sol due à la remise en culture est consommée et où ces apports jouent un rôle de relais lors de la phase de stabilisation. Ces apports permettent donc de maintenir un état d'équilibre du sol un peu plus élevé que celui des témoins et d'augmenter la production végétale.

4.3 LA COMPOSANTE BIOLOGIQUE DE LA FERTILITE DU SOL : SA RELATION AVEC LA COMPOSANTE CHIMIQUE ET AVEC LE RENDEMENT DES CULTURES

4.3.1 Nitrification nette *in situ*

La technique utilisée pour quantifier la nitrification *in situ* est celle des cylindres d'incubation déjà décrits dans le § 3.2.2.2. La différence entre la quantité de N-NO₃ présente en fin d'incubation (T7) et celle présente à T0 permet ensuite de calculer la nitrification nette (ou apparente) Nit_{nt} en mg N-NO₃ kg⁻¹ j⁻¹. La nitrification brute Nit_{br} (ou réelle), grâce au marqueur ¹⁵N, a été déterminée sur l'essai de Thyssé pour lequel nous mesurons ces deux flux (nitrification brute et nette) que nous pourrions donc comparer (logiciel FLUAZ, d'après le modèle de Mary *et al.* (1998)). FLUAZ permet, à partir de données résultats d'analyses ¹⁵N, de quantifier les différents flux d'azote dans le sol (minéralisation, nitrification, organisation mais aussi pertes par drainage, immobilisation par le complexe absorbant ou volatilisation selon les options choisies par l'expérimentateur). Ces deux flux ont été quantifiés à quatre moments du cycle cultural (semis, début montaison, fin montaison-début épiaison pour le mil ou floraison mâle pour le maïs et récolte), la saison sèche n'ayant fait l'objet que d'un suivi du flux net. Afin de confronter ces données à la production végétale, nous avons estimé la fourniture totale de N-NO₃ par le sol pendant la période de végétation en faisant l'hypothèse d'une évolution linéaire des flux entre deux dates de mesure. La production journalière ainsi calculée peut faire l'objet d'un cumul de N-NO₃ en mg kg⁻¹ puis, en utilisant une densité apparente moyenne de 1.5, en kg ha⁻¹ pour l'horizon 0-10 cm.

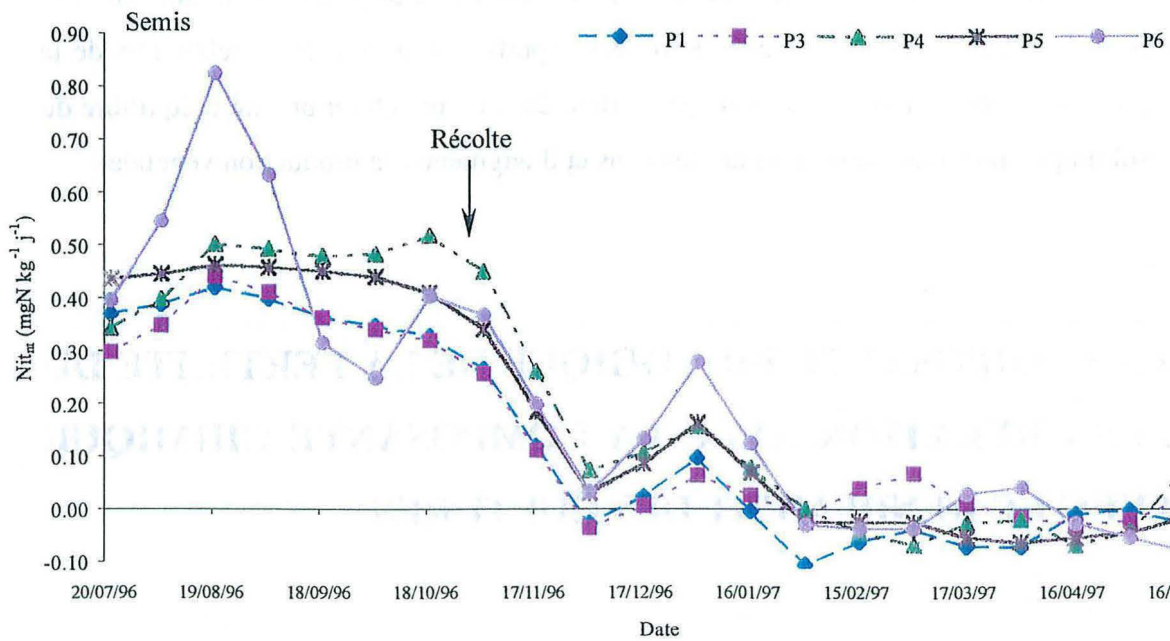


Figure 15 : Evolution de la nitrification nette (Nit_{nt} en mgN kg⁻¹ j⁻¹) sur l'essai « Travail du sol*compost » au cours de l'année 1996-97.

4.3.1.1 A Thyssé-Kaymor

Cet essai est, rappelons-le, un dispositif en bande comportant six traitements, rangés en ordre croissant d'intensification du travail du sol et de la dose de compost apportée, allant de P1 pour le témoin paysan à P6 pour le traitement bénéficiant d'un apport annuel de 10 t MS ha⁻¹ de compost sur la rotation arachide-mil (voir § 3.1.2.2). Seul le traitement P2 n'a pas été suivi car il s'agit d'une parcelle non désherbée et cultivée seulement une année sur deux (année de mil), la concurrence des adventices vis-à-vis de l'arachide étant trop forte. Ces traitements ont été appliqués de 1990 à 1995 inclus. L'année 1996 a été consacrée au test des effets cumulés des traitements.

Les prélèvements de sol réalisés avant campagne (Tableau XIII) montrent un gradient croissant allant de P1 à P6 concernant l'ensemble des caractéristiques physico-chimiques, à l'exception du potassium échangeable qui, dans tous les cas, reste très faible. Les parcelles forment deux groupes : les parcelles sans matière organique (P1, P2 et P3) d'une part et les parcelles ayant reçu du compost (P4, P5 et P6) d'autre part.

Tableau XIII : Caractéristiques physico-chimiques du sol de l'essai de Thyssé-Kaymor en 1996 (avant campagne), horizon 0-10 cm.

	Granulométrie (%)		MOS		Pass	Complexe d'échange cmol (+) kg ⁻¹						pH		
	Arg.	Lim. fins	Ct	Nt		Ca	Mg	K	Na	Al	S	CEC	KCl	eau
			g kg ⁻¹		g kg ⁻¹									
1	4.3	2.6	0.23	191	9.2	0.40	0.15	0.05	0.01	0.01	0.60	0.68	4.2	5.6
2	4.2	3.6	0.20	191	7.5	0.39	0.16	0.07	0.01	0.02	0.62	0.70	4.3	5.6
3	4.0	2.5	0.19	186	7.5	0.37	0.14	0.05	0.02	0.03	0.57	0.73	4.2	5.5
4	4.6	3.5	0.26	233	8.6	0.68	0.32	0.07	0.02	0.00	0.08	0.23	4.8	6.1
5	5.1	2.9	0.24	219	9.8	0.72	0.36	0.06	0.01	0.00	0.14	0.23	5.0	6.3
6	4.9	2.3	0.26	252	12.7	0.88	0.47	0.10	0.01	0.00	0.46	0.71	5.2	6.3

Pendant l'hivernage, la nitrification nette Nit_{nt} (Figure 15) varie selon les parcelles et les dates entre 0.27 et 0.81 mg NO₃ kg⁻¹ j⁻¹, principalement sur la parcelle P6. En effet, pour les autres traitements, Nit_{nt} varie peu durant l'hivernage au sein d'une même parcelle, se maintenant entre 0.30 et 0.52 mg N-NO₃ kg⁻¹ j⁻¹ selon les traitements. Après la récolte, Nit_{nt} chute rapidement jusqu'à devenir quasiment nulle (début décembre 1996). Tout au long de la saison sèche, la nitrification nette varie entre -0.10 et 0.16 mg N-NO₃ kg⁻¹ j⁻¹, à l'exception de

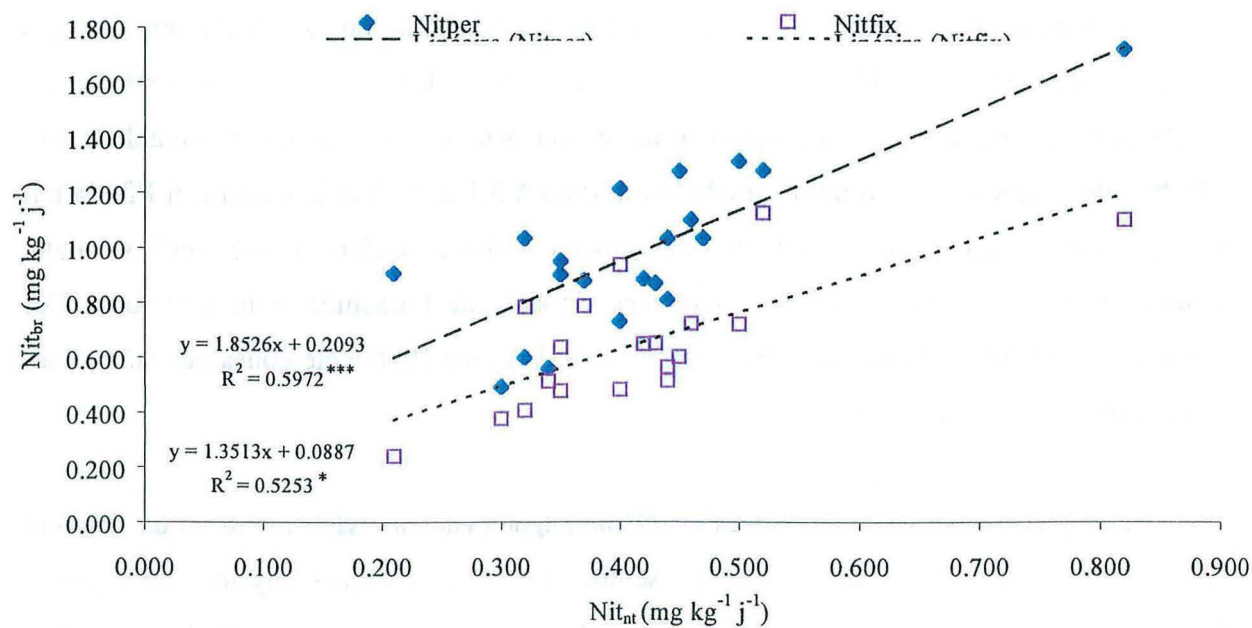


Figure 16 : Relation entre la nitrification nette (Nit_{nt}) et la nitrification brute calculée selon les hypothèses de drainage (Nit_{per}) et de fixation (Nit_{fix}), tous points pris en compte.

*** : la régression est significative à $p = 0.001$

* : la régression est significative à $p = 0.05$

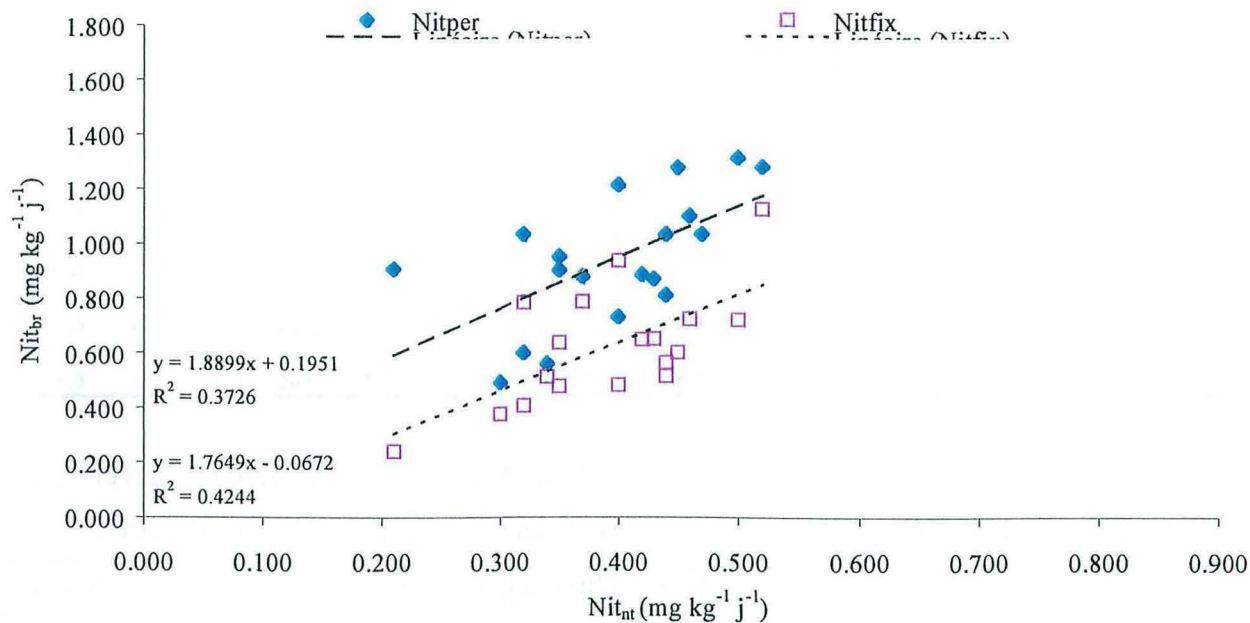


Figure 17 : Relation entre la nitrification nette (Nit_{nt}) et la nitrification brute calculée selon les hypothèses de drainage (Nit_{per}) et de fixation (Nit_{fix}), sauf points extrêmes (pour Nit_{nt} = 0.820).

P6 qui présente un pic relatif à 0.28 mg N-NO₃ kg⁻¹ j⁻¹ fin décembre 1996. Si l'on fait le cumul, par interpolation linéaire (en estimant une vitesse journalière entre deux dates de mesure t et t+1 à partir des vitesses mesurées aux deux dates l'encadrant selon une équation du type y=ax+b où a est la pente calculée d'après les deux mesures et b la vitesse mesurée à t), de l'azote nitrique produit dans l'horizon 0-10 cm entre le 21 juillet 1996 et le 25 mai 1997, il apparaît que 79 à 98% du N-NO₃ est produit pendant le cycle cultural (du 21/07 au 28/10) soit en trois mois. Selon les parcelles, la production de N-NO₃ pendant cette période va de 59 à 77 kg ha⁻¹ et se situe entre 60 et 97 kg ha⁻¹ (de P1 à P6) sur l'année.

Les mesures de nitrification brute (Nit_{br}) laissent apparaître des défauts de bilan ¹⁵N sous forme minérale (l'azote organique n'a pas fait l'objet de dosage isotopique) et nous ont conduit à réaliser le calcul de ce flux selon deux hypothèses :

- les pertes observées sont dues à la fixation sur le complexe argilo-humique du ¹⁵N (Nit_{fix}) (Trehan S.P., 1996),
- les pertes observées ne sont dues qu'au drainage (Nit_{per}) (le ¹⁵N quitte le cylindre au niveau de la toile à blutter par des mouvements d'eau dirigés vers le sol extérieur ce qui est tout à fait probable car nous avons effectivement observé que, dans trois dates sur quatre, le sol environnant le cylindre est plus sec à T7 que le sol du cylindre, lui-même moins humide en fin d'incubation que l'horizon 0-10 cm à T0).

Ces deux hypothèses « extrêmes » représentent les limites entre lesquelles évolue la nitrification brute réelle d'où :

$$\text{Nit}_{\text{fix}} < \text{Nit}_{\text{br}} < \text{Nit}_{\text{per}}$$

Dans les deux cas, les flux bruts mesurés sont nettement supérieurs aux flux nets, notamment dans le cas de Nit_{per} (Tableau XIV, pour les valeurs mesurées et les calculs intermédiaires, dont quantités et excès isotopiques, avant FLUAZ voir l'annexe 8).

Tableau XIV : Vitesses de nitrification (en mg kg⁻¹ j⁻¹) mesurées à Thyssé-Kaymor pendant l'hivernage 1996 selon les différents modes d'évaluation.

	Semis			Montaison			Floraison mâle			Récolte		
	Nit _{nt}	Nit _{per}	Nit _{fix}	Nit _{nt}	Nit _{per}	Nit _{fix}	Nit _{nt}	Nit _{per}	Nit _{fix}	Nit _{nt}	Nit _{per}	Nit _{fix}
P1	0.370	0.878	0.785	0.420	0.885	0.647	0.350	0.901	0.478	0.320	1.033	0.783
P3	0.300	0.492	0.377	0.440	0.810	0.564	0.350	0.950	0.636	0.320	0.599	0.406
P4	0.340	0.559	0.512	0.500	1.313	0.720	0.470	1.034	-	0.520	1.280	1.126
P5	0.440	1.032	0.514	0.460	1.100	0.723	0.450	1.277	0.600	0.400	1.213	0.935
P6	0.400	0.730	0.482	0.820	1.719	1.099	0.210	0.907	0.241	0.430	0.869	0.651

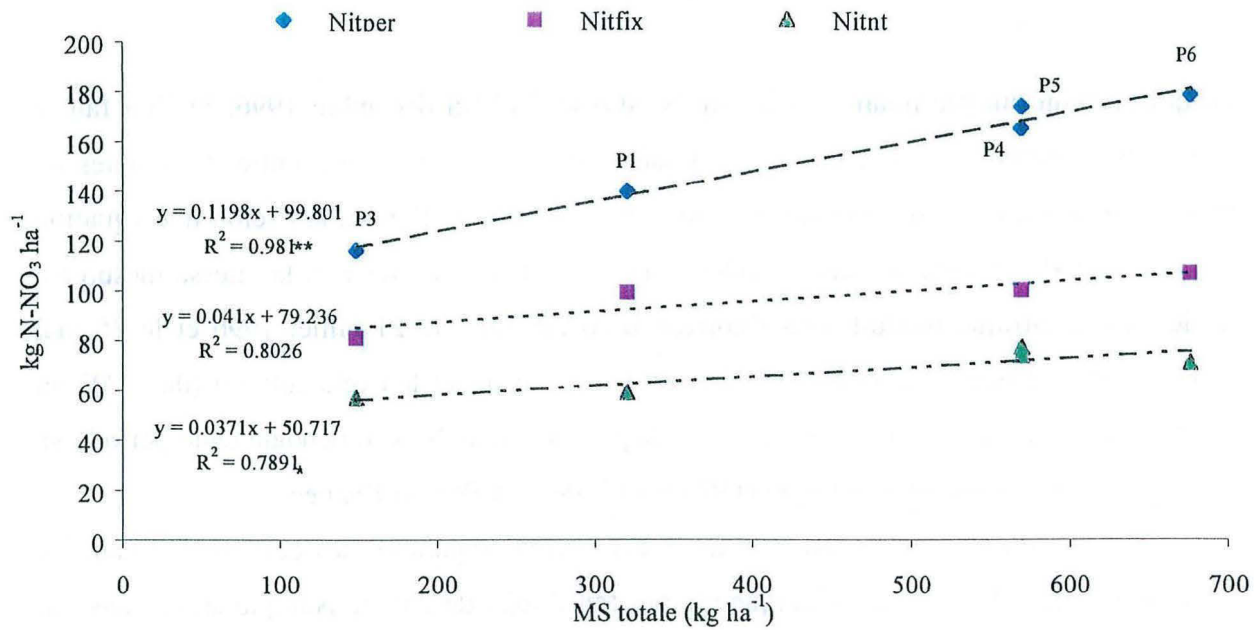


Figure 18 : Relation entre la MStotale (kg ha⁻¹) et la fourniture de N estimée par Nit_{per}, Nit_{fix} et Nit_{nt}

Tableau XV : Matrice des corrélations (partielle) entre MS totale, nitrifications nette et brute et caractéristiques physico-chimiques du sol de Thyssé-Kaymor.

	MStotale	Nit _{nt}	Nit _{per}
MStotale	1	<u>0.8883</u>	<u>0.9905</u>
Nit _{nt}	<u>0.8883</u>	1	<u>0.9113</u>
Nit _{per}	<u>0.9905</u>	<u>0.9113</u>	1
Argiles	<u>0.9521</u>	<u>0.8190</u>	<u>0.9574</u>
Limons fins	<u>0.3579</u>	<u>0.2381</u>	<u>0.2507</u>
Limons grossiers	-0.6249	-0.4793	-0.5412
Ct	<u>0.8710</u>	<u>0.9233</u>	<u>0.8975</u>
Nt	<u>0.7331</u>	<u>0.9401</u>	<u>0.7719</u>
Pass	<u>0.5944</u>	<u>0.7150</u>	<u>0.6979</u>
Ca	<u>0.8701</u>	<u>0.9782</u>	<u>0.9087</u>
Mg	<u>0.8515</u>	<u>0.9658</u>	<u>0.8941</u>
K	<u>0.5081</u>	<u>0.8257</u>	<u>0.5924</u>
CEC	<u>0.7730</u>	<u>0.9534</u>	<u>0.8247</u>
pHKCl	<u>0.9033</u>	<u>0.9631</u>	<u>0.9323</u>
pHeau	<u>0.9695</u>	<u>0.9452</u>	<u>0.9774</u>

Les corrélations significatives sont signalées en gras. Les corrélations significatives ≥ 0.700 sont soulignées.

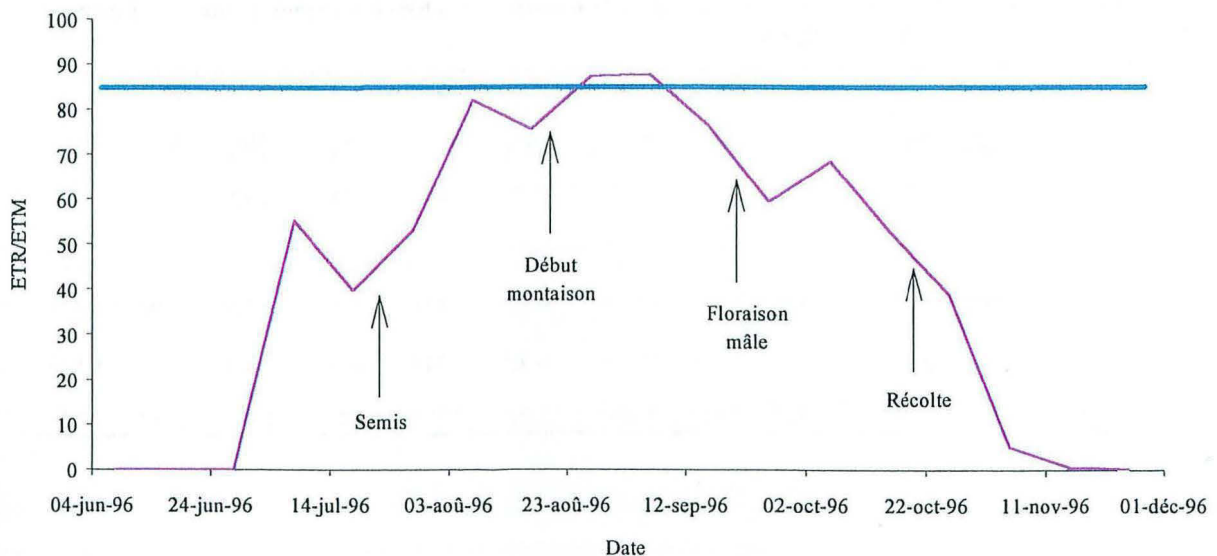


Figure 19 : Bilan hydrique simulé de la culture de maïs de l'essai « travail du sol*compost » de Thyssé, 1996.

Ces données posent trois questions :

- existe-t-il une relation entre la nitrification nette et la nitrification brute calculée selon les deux hypothèses limites ?
- la production totale d'azote nitrique estimée grâce à ces flux est-elle liée au rendement global de la culture ?
- enfin, existe-t-il une relation entre les caractéristiques physico-chimiques du sol d'une part et la fourniture d'azote nitrique et la production végétale d'autre part ?

Il existe une relation linéaire puissante entre Nit_{nt} et Nit_{per} (au seuil $p = 0.001$), la relation entre Nit_{nt} et Nit_{fix} étant moins puissante (au seuil $p=0.05$) et moins étroite ($R^2 = 0.53$ au lieu de 0.60 pour Nit_{per}) (Figure 16). Ces bonnes régressions entre Nit_{br} et Nit_{nt} (Nit_{per} explique 60% de Nit_{nt}) sont dues au poids des points correspondant à $Nit_{nt}=0.820$ (P6 au stade montaison). Si l'on élimine ce jeu de valeurs du calcul de régression linéaire (ce qui n'a *a priori* pas de raison d'être car la présomption d'une erreur analytique n'est pas plus élevée pour cet échantillon que pour tous les autres), les relations ne sont plus significatives (Figure 17). Toutefois, cela ne modifie guère les paramètres de la régression puisque, dans le cas de Nit_{per} par exemple, le coefficient « a » passe de 1.8526 à 1.8899 et la constante « b » de 0.2093 à 0.1951.

Il existe une relation linéaire très étroite ($R^2 = 0.981$) et très significative entre la MS totale et Nit_{per} (Figure 18). Cette relation n'est plus significative ($p = 0.104$) si la nitrification brute est évaluée en attribuant les pertes de ^{15}N à la fixation sur le complexe argilo-humique (Nit_{fix}) plutôt qu'au drainage (Nit_{per}). Quant à Nit_{nt} , bien qu'elle n'estime que les flux nets, elle est également significativement liée à la production de matière sèche ($R^2 = 0.7891$), même si cette variable est moins pertinente que Nit_{per} , elle peut être un indicateur intéressant car relativement aisée à mesurer. Il semble donc que Nit_{per} et Nit_{nt} , deux variables déjà liées entre elles, soient les plus à même d'estimer la fourniture par le sol d'azote facilement assimilable par la culture. Les conditions hydriques de déroulement de la culture (Figure 19) expliquent, du moins en partie, les très faibles rendements observés malgré une fourniture estimée en $N-NO_3$ de près de 180 kg ha^{-1} . En effet, la quasi totalité du cycle cultural se déroule dans des conditions d'alimentation hydrique déficitaire, surtout au stade de la floraison mâle qui est le stade le plus critique pour l'élaboration du rendement du maïs.

En ce qui concerne les relations avec les caractéristiques physico-chimiques du sol, (analyse dont est exclue Nit_{fix} car présentant une donnée manquante pour P4), la matrice des corrélations (Tableau XV) montre des relations significatives et très étroites de Nit_{nt}

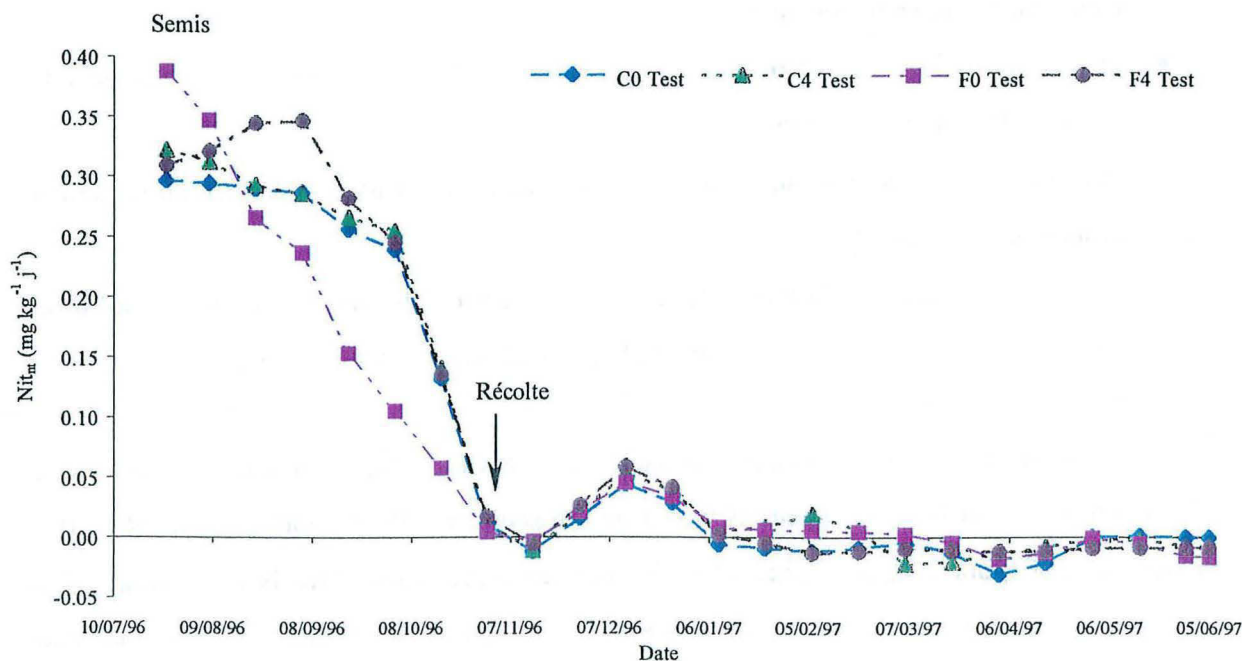


Figure 20 : Evolution de la nitrification nette (Nit_{nt} en $mgN\ kg^{-1}\ j^{-1}$) sur l'essai RMO pérenne de Bambej, campagne 1996 et saison sèche 1996-1997 (culture de mil, variété Souna III).

Tableau XVII : Matrice des corrélations (partielle) pour l'essai RMO pérenne en 1996 (mil).

	Nit_{nt}	Grains	Paille	MS totale
Nit_{nt}	1	0.8074	0.7814	0.8077
Grains	0.8074	1	0.9153	0.9564
Paille	0.7814	0.9153	1	0.9557
MS totale	0.8077	0.9564	0.9557	1
Export.N	0.8693	0.8935	0.9309	0.9694
Export.P	0.8311	0.9083	0.8862	0.9624
Export.K	1.0000	0.8074	0.7814	0.8077
Export.Ca	0.6311	0.6800	0.8945	0.7556
Export.Mg	0.6816	0.8747	0.9623	0.9360
Argiles	-0.2235	-0.0265	-0.0807	-0.1467
Limons fins	0.1349	0.4627	0.5229	0.4621
Sables	0.0678	-0.2943	-0.2941	-0.2056
Ct	0.0134	0.2021	0.2112	0.2162
Nt	0.3125	0.2508	0.2712	0.3437
Pass	0.0444	0.3010	0.2885	0.2324
Ca	0.0689	-0.0365	0.0688	0.0497
Mg	0.2220	0.1465	0.2620	0.2871
K	0.4699	0.2514	0.2327	0.1543
CEC	0.1386	0.1091	0.1870	0.2280
pHKCl	0.5204	0.1130	0.2678	0.1782
pHeau	0.4471	0.0680	0.2035	0.0712

Les corrélations significatives sont affichées en gras.

Les corrélations significatives ≥ 0.700 sont soulignées.

Ces données posent trois questions :

- existe-t-il une relation entre la nitrification nette et la nitrification brute calculée selon les deux hypothèses limites ?
- la production totale d'azote nitrique estimée grâce à ces flux est-elle liée au rendement global de la culture ?
- enfin, existe-t-il une relation entre les caractéristiques physico-chimiques du sol d'une part et la fourniture d'azote nitrique et la production végétale d'autre part ?

Il existe une relation linéaire puissante entre Nit_{nt} et Nit_{per} (au seuil $p = 0.001$), la relation entre Nit_{nt} et Nit_{fix} étant moins puissante (au seuil $p=0.05$) et moins étroite ($R^2 = 0.53$ au lieu de 0.60 pour Nit_{per}) (Figure 16). Ces bonnes régressions entre Nit_{br} et Nit_{nt} (Nit_{per} explique 60% de Nit_{nt}) sont dues au poids des points correspondant à $Nit_{nt}=0.820$ (P6 au stade montaison). Si l'on élimine ce jeu de valeurs du calcul de régression linéaire (ce qui n'a *a priori* pas de raison d'être car la présomption d'une erreur analytique n'est pas plus élevée pour cet échantillon que pour tous les autres), les relations ne sont plus significatives (Figure 17). Toutefois, cela ne modifie guère les paramètres de la régression puisque, dans le cas de Nit_{per} par exemple, le coefficient « a » passe de 1.8526 à 1.8899 et la constante « b » de 0.2093 à 0.1951.

Il existe une relation linéaire très étroite ($R^2 = 0.981$) et très significative entre la MS totale et Nit_{per} (Figure 18). Cette relation n'est plus significative ($p = 0.104$) si la nitrification brute est évaluée en attribuant les pertes de ^{15}N à la fixation sur le complexe argilo-humique (Nit_{fix}) plutôt qu'au drainage (Nit_{per}). Quant à Nit_{nt} , bien qu'elle n'estime que les flux nets, elle est également significativement liée à la production de matière sèche ($R^2 = 0.7891$), même si cette variable est moins pertinente que Nit_{per} , elle peut être un indicateur intéressant car relativement aisée à mesurer. Il semble donc que Nit_{per} et Nit_{nt} , deux variables déjà liées entre elles, soient les plus à même d'estimer la fourniture par le sol d'azote facilement assimilable par la culture. Les conditions hydriques de déroulement de la culture (Figure 19) expliquent, du moins en partie, les très faibles rendements observés malgré une fourniture estimée en $N-NO_3$ de près de 180 kg ha^{-1} . En effet, la quasi totalité du cycle cultural se déroule dans des conditions d'alimentation hydrique déficitaire, surtout au stade de la floraison mâle qui est le stade le plus critique pour l'élaboration du rendement du maïs.

En ce qui concerne les relations avec les caractéristiques physico-chimiques du sol, (analyse dont est exclue Nit_{fix} car présentant une donnée manquante pour P4), la matrice des corrélations (Tableau XV) montre des relations significatives et très étroites de Nit_{nt}

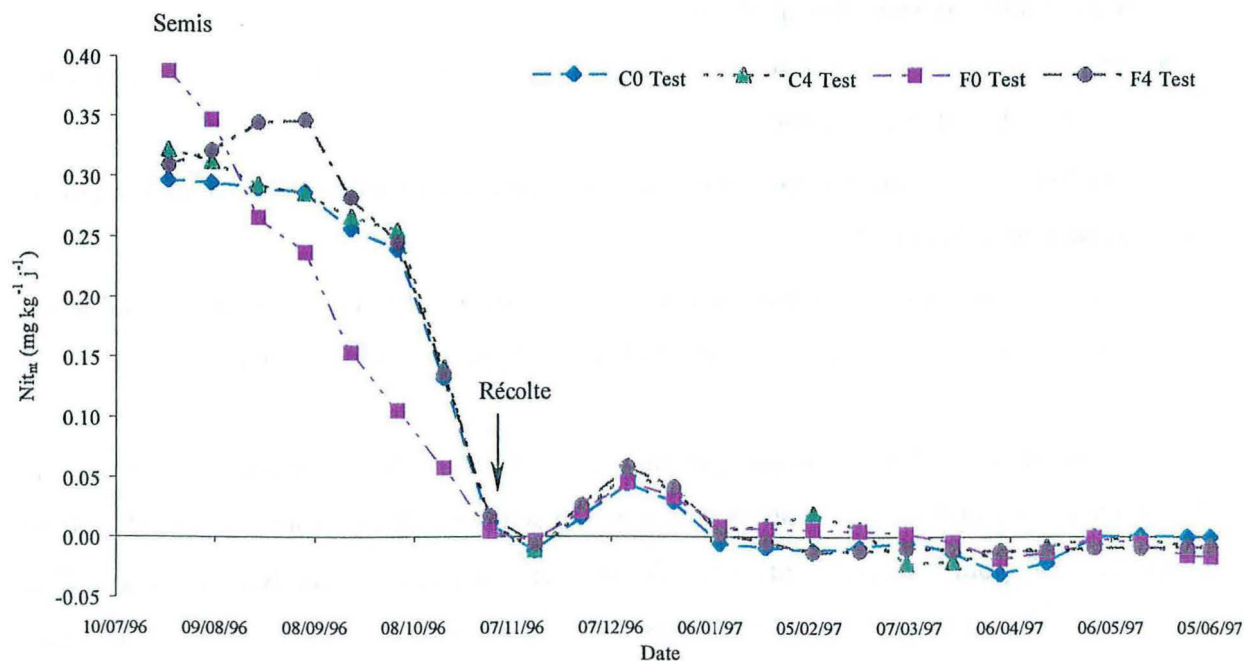


Figure 20 : Evolution de la nitrification nette (Nit_{nt} en $mgN\ kg^{-1}\ j^{-1}$) sur l'essai RMO pérenne de Bambey, campagne 1996 et saison sèche 1996-1997 (culture de mil, variété Souna III).

Tableau XVII : Matrice des corrélations (partielle) pour l'essai RMO pérenne en 1996 (mil).

	Nit_{nt}	Grains	Paille	MS totale
Nit_{nt}	1	<u>0.8074</u>	<u>0.7814</u>	<u>0.8077</u>
Grains	<u>0.8074</u>	1	<u>0.9153</u>	<u>0.9564</u>
Paille	<u>0.7814</u>	<u>0.9153</u>	1	<u>0.9557</u>
MS totale	<u>0.8077</u>	<u>0.9564</u>	<u>0.9557</u>	1
Export.N	<u>0.8693</u>	<u>0.8935</u>	<u>0.9309</u>	<u>0.9694</u>
Export.P	<u>0.8311</u>	<u>0.9083</u>	<u>0.8862</u>	<u>0.9624</u>
Export.K	<u>1.0000</u>	<u>0.8074</u>	<u>0.7814</u>	<u>0.8077</u>
Export.Ca	<u>0.6311</u>	<u>0.6800</u>	<u>0.8945</u>	<u>0.7556</u>
Export.Mg	<u>0.6816</u>	<u>0.8747</u>	<u>0.9623</u>	<u>0.9360</u>
Argiles	-0.2235	-0.0265	-0.0807	-0.1467
Limons fins	0.1349	<u>0.4627</u>	<u>0.5229</u>	<u>0.4621</u>
Sables	0.0678	-0.2943	-0.2941	-0.2056
Ct	0.0134	0.2021	0.2112	0.2162
Nt	<u>0.3125</u>	0.2508	0.2712	<u>0.3437</u>
Pass	0.0444	0.3010	0.2885	0.2324
Ca	0.0689	-0.0365	0.0688	0.0497
Mg	0.2220	0.1465	0.2620	0.2871
K	<u>0.4699</u>	0.2514	0.2327	0.1543
CEC	0.1386	0.1091	0.1870	0.2280
pHKCl	<u>0.5204</u>	0.1130	0.2678	0.1782
pHeau	<u>0.4471</u>	0.0680	0.2035	0.0712

Les corrélations significatives sont affichées en gras.

Les corrélations significatives ≥ 0.700 sont soulignées.

(exprimée en kg ha^{-1}) avec la matière organique du sol (Ct et Nt, R^2 respectivement de 0.852 et 0.884), le complexe absorbant (Ca, Mg, CEC, pH_{KCl} et pH_{eau} avec des R^2 compris entre 0.893 et 0.957) et, dans une moindre mesure, la teneur en argiles. Pour Nit_{per} (également exprimée en kg ha^{-1}), l'ordre est quelque peu inversé avec une position prédominante de la teneur en argiles ($R^2 = 0.917$) suivie des pH (R^2 compris entre 0.859 et 0.955) au détriment de Ct et Nt (R^2 respectivement de 0.805 et 0.596). La MS totale est, elle aussi, fortement liée à la teneur en argiles ($R^2 = 0.952$) et aux pH ce qui n'est pas sans rappeler la forte corrélation entre MStotale et Nit_{per} ($R^2 = 0.981$). Nit_{nt} , Nit_{per} et MStotale sont donc, dans tous les cas, négativement corrélées avec la somme des sables (20-2000 μm) et certains cations défavorables à la culture comme Al^{+++} , H^+ et Na^+ .

4.3.1.2 A Bambeï (RMO pérenne et annuel)

Pour ces essais nous ne disposons pas des flux bruts de nitrification qui ont été quantifiés uniquement sur l'essai « Travail du sol*compost » de Thyssé-Kaymor. La nitrification nette (Nit_{nt}) dans l'horizon 0-10 cm a été mesurée, en 1996, sur les placettes « test » des doses 0 et 6 tMS ha^{-1} de fumier ou de compost (C0, C4, F0 et F4) et en 1997 sur les placettes « test » et « continu » des mêmes traitements, avec, chaque année, trois blocs sur six. Nit_{nt} a également été suivie en 1997 sur l'essai RMO annuel.

Comme pour l'essai de Thyssé-Kaymor, après une rapide description de l'évolution de Nit_{nt} au cours de l'hivernage, nous rechercherons, pour chaque campagne, d'éventuelles relations entre la production estimée d'azote nitrique et la matière sèche totale d'une part, et avec les caractéristiques physico-chimiques du sol d'autre part.

Sur RMO pérenne, en 1996 (placettes « test » uniquement), Nit_{nt} (Figure 20) évolue de manière sensiblement identique à ce que nous avons déjà observé sur l'essai de Thyssé à savoir une phase de nitrification relativement élevée pendant l'hivernage suivie d'une chute rapide en fin de culture, Nit_{nt} étant nulle pendant la saison sèche avec toutefois un pic de faible amplitude en décembre que nous avons déjà observé à Thyssé à la même période. Ici, Nit_{nt} évolue, pendant l'hivernage, entre 0.25 et 0.40 $\text{mg kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$, ce qui est légèrement en deçà des niveaux observés à Thyssé où Nit_{nt} évoluait entre 0.27 et 0.50 $\text{mg kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$ en moyenne avec un pic à 0.81 $\text{mg kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$. Sur les séries compost et fumier, il n'existe pas d'effet résiduel de la dose de matière organique apportée en 1994. Seul l'effet date est hautement significatif, puisque en 1996 on ne travaille que sur les placettes « test », le avec une décroissance progressive de Nit_{nt} pendant les trois premiers stades (semis, début montaison et épiaison),

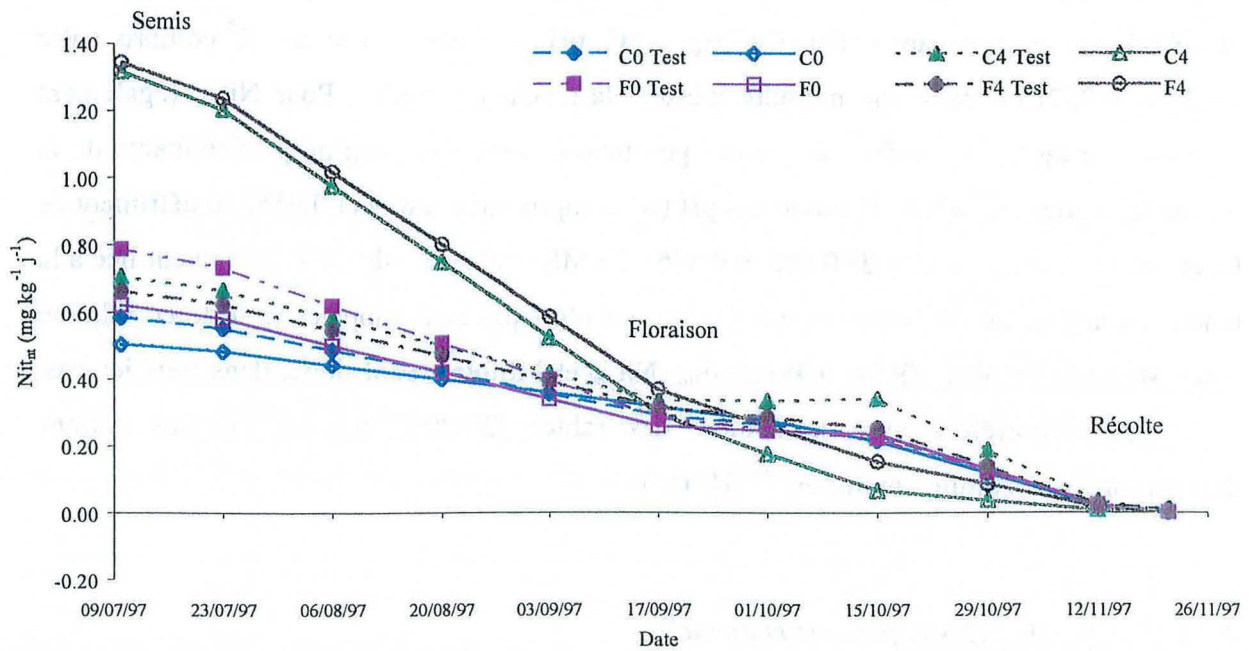


Figure 21 : Evolution de la nitrification nette (Nit_{nt} en $mgN\ kg^{-1}\ j^{-1}$) sur l'essai RMO pérenne de Bambej, campagne 1997 (culture d'arachide, variété 55-437).

Tableau XIX : Matrice des corrélations (partielle) pour l'essai RMO pérenne en 1997 (arachide).

	Nit_{nt}	Grains	Gousses	Fanes	MS totale	Export.P	Export.K	Export.Ca	Export.Mg
Nit_{nt}	1	<u>0.7384</u>	<u>0.7592</u>	<u>0.7792</u>	<u>0.7873</u>	<u>0.7918</u>	<u>0.8361</u>	<u>0.7534</u>	<u>0.7639</u>
Grains	<u>0.7384</u>	1	<u>0.9961</u>	<u>0.8945</u>	<u>0.9503</u>	<u>0.9483</u>	<u>0.8830</u>	<u>0.8883</u>	<u>0.9011</u>
Gousses	<u>0.7592</u>	<u>0.9961</u>	1	<u>0.9164</u>	<u>0.9659</u>	<u>0.9641</u>	<u>0.8989</u>	<u>0.9027</u>	<u>0.9194</u>
Fanes	<u>0.7792</u>	<u>0.8945</u>	<u>0.9164</u>	1	<u>0.9888</u>	<u>0.9697</u>	<u>0.9504</u>	<u>0.9737</u>	<u>0.9779</u>
MS totale	<u>0.7873</u>	<u>0.9503</u>	<u>0.9659</u>	<u>0.9888</u>	1	<u>0.9870</u>	<u>0.9502</u>	<u>0.9666</u>	<u>0.9757</u>
Export.P	<u>0.7918</u>	<u>0.9483</u>	<u>0.9641</u>	<u>0.9697</u>	<u>0.9870</u>	1	<u>0.9202</u>	<u>0.9461</u>	<u>0.9603</u>
Export.K	<u>0.8361</u>	<u>0.8830</u>	<u>0.8989</u>	<u>0.9504</u>	<u>0.9502</u>	<u>0.9202</u>	1	<u>0.9233</u>	<u>0.9075</u>
Export.Ca	<u>0.7534</u>	<u>0.8883</u>	<u>0.9027</u>	<u>0.9737</u>	<u>0.9666</u>	<u>0.9461</u>	<u>0.9233</u>	1	<u>0.9820</u>
Export.Mg	<u>0.7639</u>	<u>0.9011</u>	<u>0.9194</u>	<u>0.9779</u>	<u>0.9757</u>	<u>0.9603</u>	<u>0.9075</u>	<u>0.9820</u>	1
Argiles	-0.2135	-0.2519	-0.2883	-0.3789	-0.3527	-0.3620	-0.3240	-0.3311	-0.3574
Limons fins	0.1564	0.1240	0.1272	0.0917	0.1068	0.1014	0.1167	0.0863	0.1192
Sables	0.1156	0.1870	0.2200	0.3304	0.2958	0.3099	0.2621	0.2883	0.2888
Ct	0.6223	0.5391	0.5681	0.6471	0.6305	0.6007	0.5755	0.6504	0.7060
Nt	0.4897	0.2413	0.2492	0.2760	0.2715	0.2214	0.3140	0.2864	0.3183
Pass	-0.0259	-0.1831	-0.1463	-0.0181	-0.0663	-0.0814	0.0119	-0.0572	-0.0656
Ca	0.4045	0.5120	0.5018	0.5031	0.5127	0.4918	0.4372	0.5864	0.6143
Mg	0.4253	0.5463	0.5549	0.6348	0.6177	0.5990	0.5119	0.6664	0.7233
K	0.6872	0.6847	0.7242	0.8321	0.8085	0.7786	0.8048	0.8033	0.8168
CEC	0.3634	0.4675	0.4657	0.5276	0.5150	0.4732	0.4827	0.6072	0.6253
pHKCl	0.5557	0.6237	0.6128	0.5126	0.5602	0.5726	0.4913	0.5700	0.5952
pHeau	0.6830	0.8681	0.8669	0.7957	0.8382	0.8388	0.7490	0.7853	0.8237

Les corrélations significatives sont signalées en gras.

Les corrélations significatives ≥ 0.700 sont soulignées.

(exprimée en kg ha^{-1}) avec la matière organique du sol (Ct et Nt, R^2 respectivement de 0.852 et 0.884), le complexe absorbant (Ca, Mg, CEC, pH_{KCl} et pH_{eau} avec des R^2 compris entre 0.893 et 0.957) et, dans une moindre mesure, la teneur en argiles. Pour Nit_{per} (également exprimée en kg ha^{-1}), l'ordre est quelque peu inversé avec une position prédominante de la teneur en argiles ($R^2 = 0.917$) suivie des pH (R^2 compris entre 0.859 et 0.955) au détriment de Ct et Nt (R^2 respectivement de 0.805 et 0.596). La MS totale est, elle aussi, fortement liée à la teneur en argiles ($R^2 = 0.952$) et aux pH ce qui n'est pas sans rappeler la forte corrélation entre MStotale et Nit_{per} ($R^2 = 0.981$). Nit_{nt} , Nit_{per} et MStotale sont donc, dans tous les cas, négativement corrélées avec la somme des sables (20-2000 μm) et certains cations défavorables à la culture comme Al^{+++} , H^+ et Na^+ .

4.3.1.2 A Bambey (RMO pérenne et annuel)

Pour ces essais nous ne disposons pas des flux bruts de nitrification qui ont été quantifiés uniquement sur l'essai « Travail du sol*compost » de Thyssé-Kaymor. La nitrification nette (Nit_{nt}) dans l'horizon 0-10 cm a été mesurée, en 1996, sur les placettes « test » des doses 0 et 6 tMS ha^{-1} de fumier ou de compost (C0, C4, F0 et F4) et en 1997 sur les placettes « test » et « continu » des mêmes traitements, avec, chaque année, trois blocs sur six. Nit_{nt} a également été suivie en 1997 sur l'essai RMO annuel.

Comme pour l'essai de Thyssé-Kaymor, après une rapide description de l'évolution de Nit_{nt} au cours de l'hivernage, nous rechercherons, pour chaque campagne, d'éventuelles relations entre la production estimée d'azote nitrique et la matière sèche totale d'une part, et avec les caractéristiques physico-chimiques du sol d'autre part.

Sur RMO pérenne, en 1996 (placettes « test » uniquement), Nit_{nt} (Figure 20) évolue de manière sensiblement identique à ce que nous avons déjà observé sur l'essai de Thyssé à savoir une phase de nitrification relativement élevée pendant l'hivernage suivie d'une chute rapide en fin de culture, Nit_{nt} étant nulle pendant la saison sèche avec toutefois un pic de faible amplitude en décembre que nous avons déjà observé à Thyssé à la même période. Ici, Nit_{nt} évolue, pendant l'hivernage, entre 0.25 et 0.40 $\text{mg kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$, ce qui est légèrement en deçà des niveaux observés à Thyssé où Nit_{nt} évoluait entre 0.27 et 0.50 $\text{mg kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$ en moyenne avec un pic à 0.81 $\text{mg kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$. Sur les séries compost et fumier, il n'existe pas d'effet résiduel de la dose de matière organique apportée en 1994. Seul l'effet date est hautement significatif, puisque en 1996 on ne travaille que sur les placettes « test », le avec une décroissance progressive de Nit_{nt} pendant les trois premiers stades (semis, début montaison et épiaison),

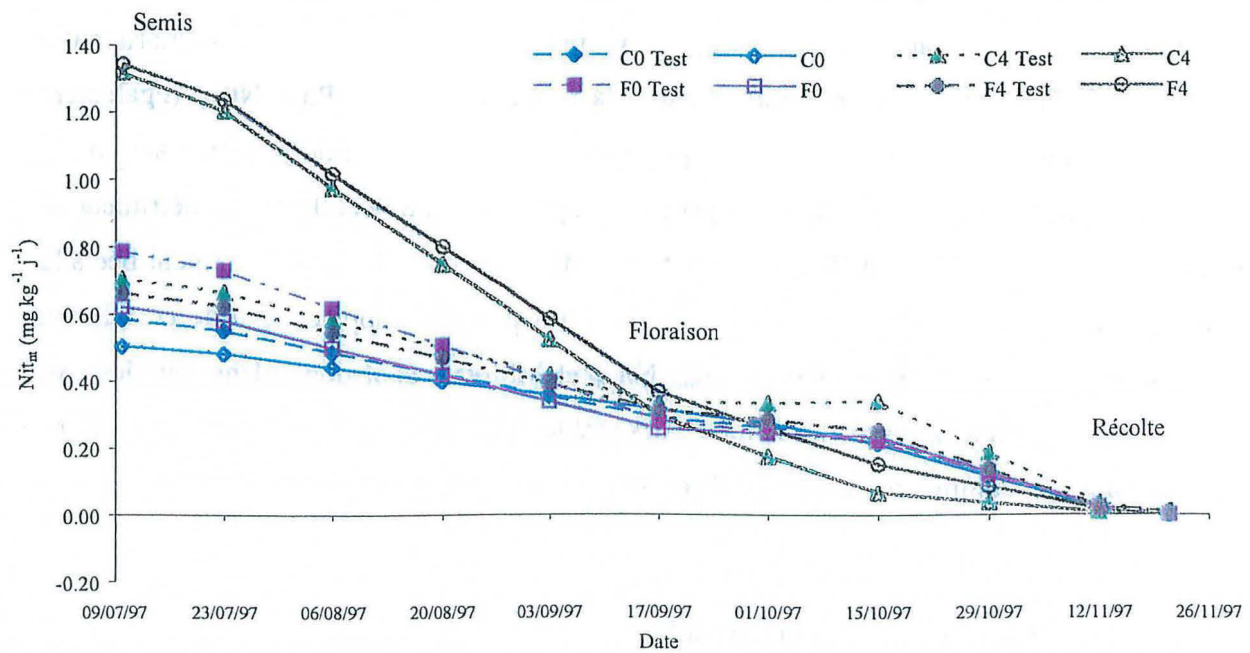


Figure 21 : Evolution de la nitrification nette (Nit_{nt} en $mgN\ kg^{-1}\ j^{-1}$) sur l'essai RMO pérenne de Bambey, campagne 1997 (culture d'arachide, variété 55-437).

Tableau XIX : Matrice des corrélations (partielle) pour l'essai RMO pérenne en 1997 (arachide).

	Nit_{nt}	Grains	Gousses	Fanes	MS totale	Export.P	Export.K	Export.Ca	Export.Mg
Nit_{nt}	1	<u>0.7384</u>	<u>0.7592</u>	<u>0.7792</u>	<u>0.7873</u>	<u>0.7918</u>	<u>0.8361</u>	<u>0.7534</u>	<u>0.7639</u>
Grains	<u>0.7384</u>	1	<u>0.9961</u>	<u>0.8945</u>	<u>0.9503</u>	<u>0.9483</u>	<u>0.8830</u>	<u>0.8883</u>	<u>0.9011</u>
Gousses	<u>0.7592</u>	<u>0.9961</u>	1	<u>0.9164</u>	<u>0.9659</u>	<u>0.9641</u>	<u>0.8989</u>	<u>0.9027</u>	<u>0.9194</u>
Fanes	<u>0.7792</u>	<u>0.8945</u>	<u>0.9164</u>	1	<u>0.9888</u>	<u>0.9697</u>	<u>0.9504</u>	<u>0.9737</u>	<u>0.9779</u>
MS totale	<u>0.7873</u>	<u>0.9503</u>	<u>0.9659</u>	<u>0.9888</u>	1	<u>0.9870</u>	<u>0.9502</u>	<u>0.9666</u>	<u>0.9757</u>
Export.P	<u>0.7918</u>	<u>0.9483</u>	<u>0.9641</u>	<u>0.9697</u>	<u>0.9870</u>	1	<u>0.9202</u>	<u>0.9461</u>	<u>0.9603</u>
Export.K	<u>0.8361</u>	<u>0.8830</u>	<u>0.8989</u>	<u>0.9504</u>	<u>0.9502</u>	<u>0.9202</u>	1	<u>0.9233</u>	<u>0.9075</u>
Export.Ca	<u>0.7534</u>	<u>0.8883</u>	<u>0.9027</u>	<u>0.9737</u>	<u>0.9666</u>	<u>0.9461</u>	<u>0.9233</u>	1	<u>0.9820</u>
Export.Mg	<u>0.7639</u>	<u>0.9011</u>	<u>0.9194</u>	<u>0.9779</u>	<u>0.9757</u>	<u>0.9603</u>	<u>0.9075</u>	<u>0.9820</u>	1
Argiles	-0.2135	-0.2519	-0.2883	-0.3789	-0.3527	-0.3620	-0.3240	-0.3311	-0.3574
Limons fins	0.1564	0.1240	0.1272	0.0917	0.1068	0.1014	0.1167	0.0863	0.1192
Sables	0.1156	0.1870	0.2200	0.3304	0.2958	0.3099	0.2621	0.2883	0.2888
Ct	0.6223	0.5391	0.5681	0.6471	0.6305	0.6007	0.5755	0.6504	0.7060
Nt	0.4897	0.2413	0.2492	0.2760	0.2715	0.2214	0.3140	0.2864	0.3183
Pass	-0.0259	-0.1831	-0.1463	-0.0181	-0.0663	-0.0814	0.0119	-0.0572	-0.0656
Ca	0.4045	0.5120	0.5018	0.5031	0.5127	0.4918	0.4372	0.5864	0.6143
Mg	0.4253	0.5463	0.5549	0.6348	0.6177	0.5990	0.5119	0.6664	0.7233
K	0.6872	0.6847	0.7242	0.8321	0.8085	0.7786	0.8048	0.8033	0.8168
CEC	0.3634	0.4675	0.4657	0.5276	0.5150	0.4732	0.4827	0.6072	0.6253
pHKCl	0.5557	0.6237	0.6128	0.5126	0.5602	0.5726	0.4913	0.5700	0.5952
pHeau	0.6830	0.8681	0.8669	0.7957	0.8382	0.8388	0.7490	0.7853	0.8237

Les corrélations significatives sont signalées en gras.

Les corrélations significatives ≥ 0.700 sont soulignées.

sauf pour F4 où l'on atteint un optimum au stade début montaison avant de rejoindre les autres traitements. A partir de la récolte, on n'observe plus aucune différence entre les dates.

La production d'azote nitrique pendant l'hivernage est estimée, selon les traitements, entre 29.5 (pour F0 « test ») et 40 kg ha⁻¹ (pour F4 « test », Tableau XVI) ce qui représente 94.4 à 101.4% de la production totale entre le 26 juillet 1996 et le 5 juin 1997. Ces niveaux sont inférieurs à ceux relevés à Thyssé compris entre 50 et 70 kg ha⁻¹ (pour Nit_{nt}) mais ils sont suffisamment élevés pour couvrir les exportations en azote de la culture de mil des placettes « test » comprises entre 19.5 et 34.7 kg ha⁻¹ (annexe 9).

Tableau XVI : Production totale estimée (kg ha⁻¹) d'azote nitrique de l'horizon 0-10 cm sur l'essai RMO pérenne de Bambey en 1996 .

Placettes	C0 Test		C4 Test		F0 Test		F4 Test	
	Hivernage	Année	Hivernage	Année	Hivernage	Année	Hivernage	Année
Moyenne	35.3	34.8	37.6	39.1	29.5	30.9	40.0	40.6
Ecart moyen.	2.90	3.70	0.40	1.20	5.31	5.09	1.95	1.72

Pour les valeurs individuelles, voir annexe 9.

Cette production d'azote nitrique (Nit_{nt}) est significativement liée à la MS totale et au rendement en grains ($R^2 = 0.652$ dans les deux cas) mais plus encore aux exportations en K ($R^2 = 1$), en N ($R^2 = 0.756$) et en P ($R^2 = 0.691$) (Tableau XVII). Contrairement à ce que l'on avait pu observer à Thyssé-Kaymor, les relations entre Nit_{nt} exprimée en kg ha⁻¹ et les caractéristiques physico-chimiques du sol sont plus distendues.

En 1997, l'essai pérenne est cultivé en arachide, et le compost et le fumier ont été épandus l'année précédente sur les placettes « continu » que nous avons suivies lors de cette campagne. Comme l'année précédente, Nit_{nt} décroît entre le semis et la récolte (effet date hautement significatif) pour atteindre la valeur nulle (Figure 21). Toutefois, on notera que les flux au semis sont plus importants avec des valeurs comprises entre 0.57 et 0.80 mg kg⁻¹ j⁻¹ pour les placettes « test » (on rappelle que l'année précédente, on ne dépassait pas les 0.40 mg kg⁻¹ j⁻¹) et les placettes « continu » sans matière organique apportée. De plus, pour les placettes ayant bénéficié l'année précédente d'un apport de 6 tMS ha⁻¹ de compost ou de fumier (C4 et F4 « continu »), on atteint, toujours au stade semis, une nitrification apparente de 1.32 et 1.34 mg kg⁻¹ j⁻¹ soit près du double des placettes C4 et F4 « test » la même année (respectivement 0.70 et 0.66 mg kg⁻¹ j⁻¹) (Stenger R. *et al.*, 1996). Pendant la première moitié de cette campagne 1997, seules sont significativement différentes les placettes ayant reçu un apport de matière organique en 1996 (C4 et F4 « continu »). Ces flux de nitrification plus

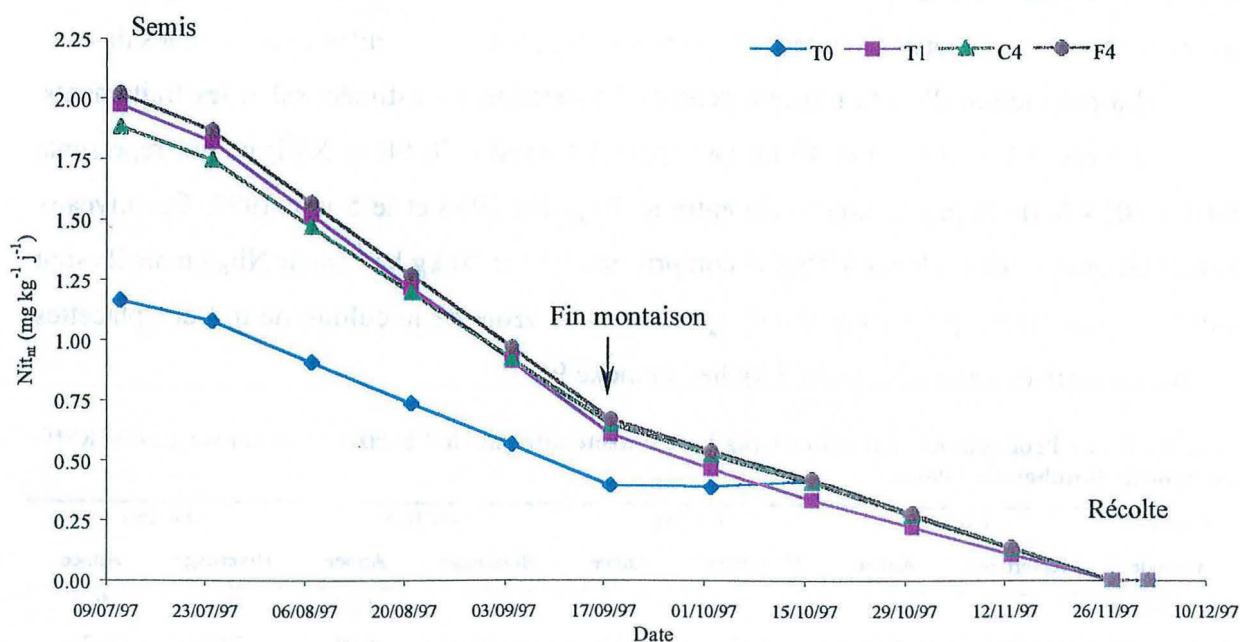


Figure 22 : Evolution de la nitrification nette (Nit_{nt} en $mgN\ kg^{-1}\ j^{-1}$) sur l'essai RMO annuel de Bambeay, campagne 1997 (culture de mil, variété Souna III).

Tableau XX : Matrice des corrélations (partielle) pour l'essai RMO annuel en utilisant les caractéristiques physico-chimiques du sol avant campagne.

	Nit_{nt}	Grains	Pailles	MS totale
Nit_{nt}	1	0.1949	0.6149	0.5783
Grains	0.1949	1	0.4446	0.6794
Pailles	0.6149	0.4446	1	0.9413
MS totale	0.5783	0.6794	0.9413	1
Export.N	0.4339	0.6644	0.8152	0.8947
Export.P	0.2113	0.7724	0.5973	0.7471
Export.K	0.3613	0.5867	0.8400	0.8516
Export.Ca	0.4502	0.3879	0.7956	0.7785
Export.Mg	0.5666	0.3050	0.8917	0.8494
Argiles	-0.0042	-0.1989	-0.1406	-0.1813
Limons fins	0.0074	-0.1643	-0.1287	-0.1514
Sables	0.0020	0.2261	0.1584	0.2023
Ct	-0.1121	-0.2023	-0.0325	-0.0624
Nt	-0.0114	-0.1927	-0.1236	-0.1570
Pass	-0.0571	-0.1780	-0.0756	-0.1017
Ca	-0.0784	-0.1108	-0.0545	-0.0462
Mg	-0.0238	-2160	-0.1568	-0.1828
K	-0.0384	-0.1639	-0.1132	-0.1221
CEC	-0.0576	-0.1809	-0.0922	-0.1095
pHKCl	-0.0615	-0.0664	-0.0121	-0.0026
pHeau	-0.1019	-0.0695	0.0552	0.0526

Les corrélations significatives sont signalées en gras.

Les corrélations significatives ≥ 0.700 sont soulignées.

importants conduisent donc à une production globale d'azote nitrique elle aussi plus élevée (Tableau XVIII), notamment pour les placettes ayant reçu de la matière organique l'année précédente et l'engrais apporté à la culture en 1997, avec une production en $N-NO_3$ estimée de plus de 100 kg ha^{-1} pendant l'hivernage pour le seul horizon 0-10 cm.

Tableau XVIII : Production totale estimée (kg ha^{-1}) d'azote nitrique de l'horizon 0-10 cm sur l'essai RMO pérenne de Bambej en 1997.

Traitement	C0		C4		F0		F4	
Placette	Test	Continu	Test	Continu	Test	Continu	Test	Continu
Moyenne	64.5	61.2	79.7	100.6	75.2	64.9	72.3	112.0
Ecart moyen.	7.11	8.08	7.77	4.95	9.28	7.05	1.91	14.06

Pour les valeurs individuelles, voir annexe 9.

Bien que l'arachide soit capable de fixer l'azote atmosphérique, nous obtenons, toutes placettes confondues, des coefficients de corrélation significatifs entre Nit_{nt} (exprimée alors en kg ha^{-1}) et les différentes composantes de la MS totale compris entre 0.738 (pour les graines) et 0.787 (pour la MS totale) soit des R^2 allant de 0.545 à 0.620 (Tableau XIX), donc assez proches de ceux obtenus l'année précédente sur la culture de mil (0.652). Quant aux relations significatives entre Nit_{nt} et les caractéristiques physico-chimiques du sol (cette fois ce sont les prélèvements de sol de décembre 1997 qui sont utilisés), elles concernent un plus grand nombre de caractéristiques et présentent des coefficients de corrélation plus élevés d'où de meilleurs coefficients de détermination.

En ce qui concerne l'essai RMO annuel, également mené en 1997, l'évolution de Nit_{nt} (Figure 22) est identique à celle observée sur l'essai pérenne soit un ralentissement progressif de ce flux tout au long de la campagne jusqu'à ce que la nitrification apparente devienne nulle après la récolte. Ce qui diffère dans cet essai ce sont les niveaux atteints par Nit_{nt} au stade semis. En effet, à cette date Nit_{nt} est comprise entre $1.16 \text{ mg kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$ pour T0 et $2.02 \text{ mg kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$ pour F4 (sachant que Nit_{nt} est de $1.88 \text{ mg kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$ pour C4 et $1.98 \text{ mg kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$ pour T1) alors que sur l'essai pérenne on ne dépasse pas $0.80 \text{ mg kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$ pour les sols non labourés et non amendés (placettes « test » équivalant T0) et $1.40 \text{ mg kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$ pour les sols labourés et bénéficiant cette année-là d'une fumure minérale « starter » (comme T1). L'état du sol de départ de cet essai annuel, nettement plus riche que celui de l'essai pérenne, est probablement à l'origine de cet important écart. T0 (le témoin paysan sans labour ni intrant) est nettement inférieur aux trois autres traitements (à $p = 0.001$) qui comportent un labour, une fumure minérale « starter » (150 kg ha^{-1} de 14-7-7) et, pour C4 et F4, 6 tMS ha^{-1} de compost ou de

Tableau XXI : Matrice des corrélations (partielle) pour l'essai RMO annuel en utilisant les caractéristiques physico-chimiques du sol après campagne.

	Nit _{nt}	Grains	Pailles	MS totale	Export.N	Export.P	Export.K	Export.Ca	Export.Mg
Nit _{nt}	1	0.1949	0.6149	0.5783	0.4339	0.2113	0.3613	0.4502	0.5666
Grains	0.1949	1	0.4446	0.6794	0.6644	<u>0.7724</u>	0.5867	0.3879	0.3050
Pailles	0.6149	0.4446	1	<u>0.9413</u>	<u>0.8152</u>	0.5973	<u>0.8400</u>	<u>0.7956</u>	<u>0.8917</u>
MS totale	0.5783	0.6794	<u>0.9413</u>	1	<u>0.8947</u>	<u>0.7471</u>	<u>0.8516</u>	<u>0.7785</u>	<u>0.8494</u>
Export.N	0.4339	0.6644	<u>0.8152</u>	<u>0.8947</u>	1	<u>0.8400</u>	<u>0.7561</u>	<u>0.7714</u>	<u>0.7893</u>
Export.P	0.2113	<u>0.7724</u>	0.5973	<u>0.7471</u>	<u>0.8400</u>	1	0.5857	0.5899	0.5080
Export.K	0.3613	0.5867	<u>0.8400</u>	<u>0.8516</u>	<u>0.7561</u>	0.5857	1	<u>0.8301</u>	<u>0.7401</u>
Export.Ca	0.4502	0.3879	<u>0.7956</u>	<u>0.7785</u>	<u>0.7714</u>	0.5899	<u>0.8301</u>	1	<u>0.8613</u>
Export.Mg	0.5666	0.3050	<u>0.8917</u>	<u>0.8494</u>	<u>0.7893</u>	0.5080	<u>0.7401</u>	<u>0.8613</u>	1
Argiles	0.0499	0.2282	-0.0378	0.0916	0.1812	-0.0346	0.0184	0.1182	0.2004
Limons fins	-0.1774	-0.1398	-0.0342	-0.1145	-0.2572	-0.0656	0.0258	-0.1104	-0.1757
Sables	0.1429	-0.1741	0.0924	-0.0107	-0.0100	0.0649	-0.0394	-0.0271	-0.0684
Ct	0.1754	0.1588	0.4682	0.4331	0.2732	0.2897	0.3606	0.2417	0.2787
Nt	0.3996	0.2278	0.3375	0.3736	0.2826	0.2216	0.3286	0.2268	0.1850
Pass	0.4144	-0.0426	0.5055	0.3754	0.4160	0.2574	0.3767	0.4031	0.3546
Ca	0.4585	0.2823	0.4662	0.5241	0.4548	0.4160	0.3919	0.3756	0.4009
Mg	0.3921	0.1014	0.3764	0.3782	0.3168	0.2020	0.3165	0.2783	0.3461
K	-0.0920	0.2307	0.1533	0.1651	0.1768	0.2694	0.2347	0.0691	0.0099
CEC	0.4193	0.2258	0.3860	0.4437	0.3853	0.3577	0.2977	0.2860	0.3250
pHKCl	0.1958	0.2843	0.4163	0.4453	0.3926	0.4062	0.3991	0.2529	0.2076
pHeau	0.0800	0.3979	0.3659	0.4322	0.4226	0.4172	0.5093	0.3597	0.3004

Les corrélations significatives sont affichées en gras.

Les corrélations significatives ≥ 0.700 sont soulignées.

fumier. En termes de fourniture globale d'azote nitrique, le minimum, observé sur T0, est de 119 kg ha⁻¹, T1, C4 et F4 produisent quant à eux respectivement 178, 178 et 188 kg ha⁻¹, alors que le maximum sur l'essai pérenne était de 112 kg ha⁻¹ la même année (F4 « continu »). Cette fourniture est environ deux fois supérieure aux exportations en azote de la culture mais il faut rappeler que le mil récolté a été semé très tardivement, le 19 août 1997, date à laquelle on peut estimer l'azote nitrique déjà produit par le sol à 64 kg ha⁻¹ pour T0, 107 kg ha⁻¹ pour T1, 102 kg ha⁻¹ pour C4 et 109 kg ha⁻¹ pour F4. Par rapport au stock initial du sol en azote (604.5 kg ha⁻¹), cette production représente 19.7% du stock initial pour T0, 29.4% pour T1 (soit 28.4% de l'azote « sol+engrais »), ainsi que pour C4 (26.3% si l'on tient compte des apports dus à l'engrais et au compost) et 31.1% dans le cas de F4 (mais « seulement » 25.7% si l'on ajoute à Nt initial les apports dus à l'engrais et au fumier).

Si l'on utilise Nit_{nt} (exprimée en kg ha⁻¹) comme variable explicative du rendement, de la production de MS totale ou des exportations minérales (Tableau XX), les liaisons, bien que significatives, présentent des R² inférieurs à 0.380 ce qui est nettement en deçà des résultats précédents. Quant aux relations entre Nit_{nt} et les caractéristiques physico-chimiques du sol prélevé avant campagne (juin 1997), elles sont totalement inexistantes. Et si ce sont les relations entre la production végétale et le sol que l'on recherche, elles sont, là aussi quasiment absentes. Toutefois, si l'on utilise les caractéristiques physico-chimiques du sol de fin d'essai (décembre 1997 voir Tableau XXI) en lieu et place des analyses de sol avant essai, des liaisons apparaissent entre Nit_{nt} d'une part et Nt, Pass, Ca et Mg échangeables (et par conséquent avec la CEC) d'autre part. De plus, ces relations sont du même ordre que celles obtenues en 1996 et 1997 sur l'essai RMO pérenne ce qui semble signifier qu'à mesure que le sol se dégrade (MOS), la nitrification nette devient plus dépendante de certaines caractéristiques physico-chimiques du sol qui prennent alors plus de poids dans l'explication de la variabilité de Nit_{nt}.

4.3.2 La biomasse microbienne

Avant de présenter les résultats, nous rappelons que les résultats de biomasses microbiennes qui vont suivre (ainsi que dans le chapitre suivant) doivent être considérés comme une estimation en conditions contrôlées et optimales (humidité, température) de la biomasse réelle et non comme la biomasse *in situ* elle-même (par ailleurs soumise aux conditions d'humidité et de température du milieu). Par conséquent, le quotient microbien

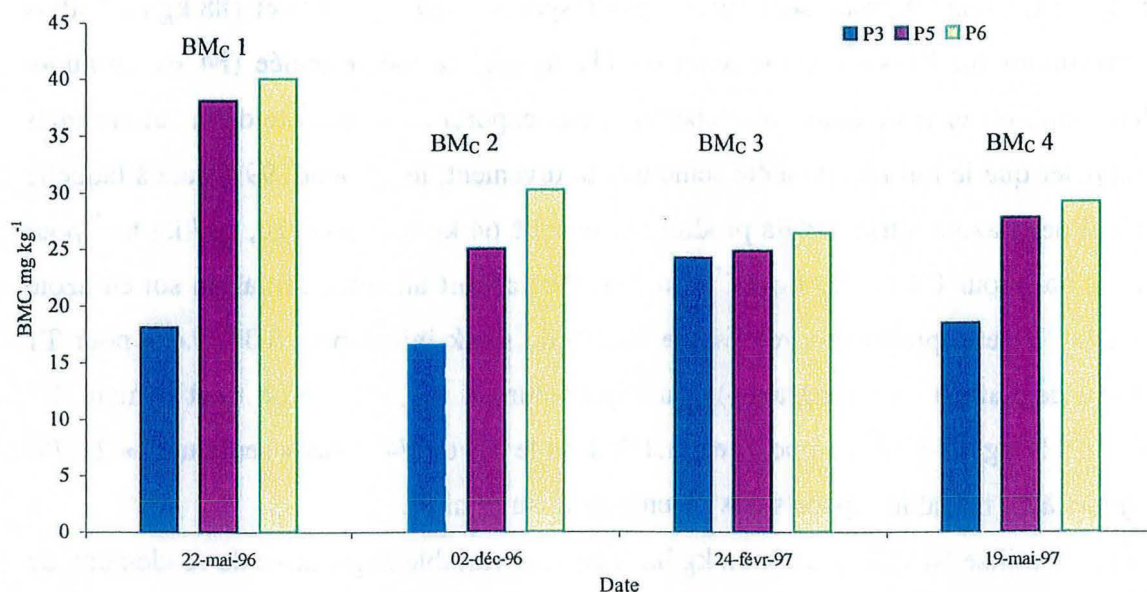


Figure 23 : Evolution de la biomasse microbienne (BM_C en $mgC\ kg^{-1}$) sur l'essai « Travail du sol*compost » de Thyssé-Kaymor.

(Les lignes en pointillés rappellent l'absence de données pour l'hivernage 1996)

Tableau XXII : Matrice des corrélations entre les composantes biologiques de l'essai de Thyssé-Kaymor (parcelles P3, P5 et P6 uniquement) et les principales caractéristiques physico-chimiques du sol.

	MStotale	Nit _{nt}	Nit _{per}	Nit _{fix}	BMC1	BMC2	BMC3	BMC4
MStot	1	0.8784	0.9921	0.9976	0.9632	0.8346	0.5741	0.9510
Nit _{nt}	0.8784	1	0.9314	0.8430	0.9746	0.9964	0.8956	0.9832
Nit _{per}	0.9921	0.9314	1	0.9809	0.9893	0.8971	0.6722	0.9823
Nit _{fix}	0.9976	0.8430	0.9809	1	0.9421	0.7941	0.5156	0.9271
BMC1	0.9632	0.9746	0.9893	0.9421	1	0.9520	0.7731	0.9991
BMC2	0.8346	0.9964	0.8971	0.7941	0.9520	1	0.9302	0.9640
BMC3	0.5741	0.8956	0.6722	0.5156	0.7731	0.9302	1	0.7991
BMC4	0.9510	0.9832	0.9823	0.9271	0.9991	0.9640	0.7991	1
Argiles	0.9996	0.8654	0.9884	0.9991	0.9556	0.8196	0.5520	0.9424
Limons fins	0.2838	-0.2089	0.1613	0.3500	0.0155	-0.2914	-0.6222	-0.0266
Limons gros.	-0.5947	-0.1382	-0.4891	-0.6493	-0.3566	-0.0534	0.3169	-0.3169
Sables fins	-0.1067	-0.5688	-0.2305	-0.0371	-0.3701	-0.6368	-0.8754	-0.4089
Sables gros.	-0.0852	0.4013	0.0404	-0.1545	0.1859	0.4778	0.7669	0.2271
Ct	0.8903	0.9997	0.9404	0.8564	0.9799	0.9939	0.8840	0.9875
Nt	0.7328	0.9689	0.8123	0.6836	0.8888	0.9864	0.9778	0.9073
Pass	0.7202	0.9642	0.8016	0.6701	0.8803	0.9833	0.9815	0.8995
pHeau	0.9865	0.9448	0.9993	0.9727	0.9942	0.9135	0.7003	0.9888
pHKCl	0.9298	0.9927	0.9686	0.9019	0.9945	0.9788	0.8351	0.9980

Les corrélations significatives sont signalées en gras.

Les corrélations significatives ≥ 0.700 sont soulignées.

(q_{BMc}), qui résulte du rapport du carbone microbien sur le carbone total du sol et permet également de juger de l'évolution d'un système (Chaussod *et al.*, 1992), ne pourra être que partiellement comparé (en termes d'ordres de grandeur) aux q_{BMc} rencontrés dans la littérature et acquis à partir de mesures de biomasses *in situ* (généralement compris entre 1 et 4% mais pouvant dans certains cas atteindre 10% comme l'ont montré Badiane *et al.* (1999) ; son intérêt est de permettre une comparaison entre différents traitements ou différents sols sur un critère biomasse microbienne « normalisé ». Il est généralement admis que lorsqu'un sol est mal ou sur-exploité, la biomasse microbienne décroît plus rapidement que la matière organique du sol, d'où une baisse du q_{BMc} (Sparling, 1997). La réciproque est vraie et donc plus un q_{BMc} est élevé, meilleur est supposé l'état de « santé » du sol (Pankhurst *et al.*, 1997) puisque plus favorable aux microorganismes. Mais cette augmentation du q_{BMc} peut également être due à une modification de la nature de la MOS aboutissant à un accroissement de la fraction facilement minéralisable et donc très accessible pour les microorganismes (Chaussod *et al.*, 1992) (Smith et Paul, 1990). De même, on peut observer une augmentation de ce quotient si l'on réduit le travail du sol (Friedel *et al.*, 1996 cité par Chaussod, 1996).

4.3.2.1 A Thyssé-Kaymor

Les données de biomasse microbienne sont très limitées sur cet essai et se résument à des mesures avant campagne, en post-récolte et au cours de la saison sèche qui a suivi, et ce pour les traitements P3, P5 et P6 qui présentaient les résultats les plus contrastés (P3 d'une part, P5-P6 d'autre part). La biomasse BM_C avant campagne représente 18 $mg\ kg^{-1}$ pour P3 et 38 à 40 $mg\ kg^{-1}$ pour P5 et P6 ce qui conduit à des q_{BMc} de 0.95% pour P3, 1.58% pour P5 et 1.54% pour P6. Après la récolte, les biomasses ne sont plus comprises qu'entre 17 et 31 $mg\ kg^{-1}$, et restent très stables au cours de la saison sèche (Figure 23).

La BM_C (sauf BM_C3 mesurée en février 1997) et la production estimée d'azote nitrique évoluent dans le même sens, quelle que soit la méthode de calcul utilisée (Nit_{nt} , Nit_{per} ou Nit_{fix}) (Tableau XXII). Il en va de même entre la BM_C et la MS totale, ou encore la teneur en argile, les pH et la matière organique du sol. Toutefois, il convient de rappeler que ces observations ne sont établies que sur la base de seulement trois points.

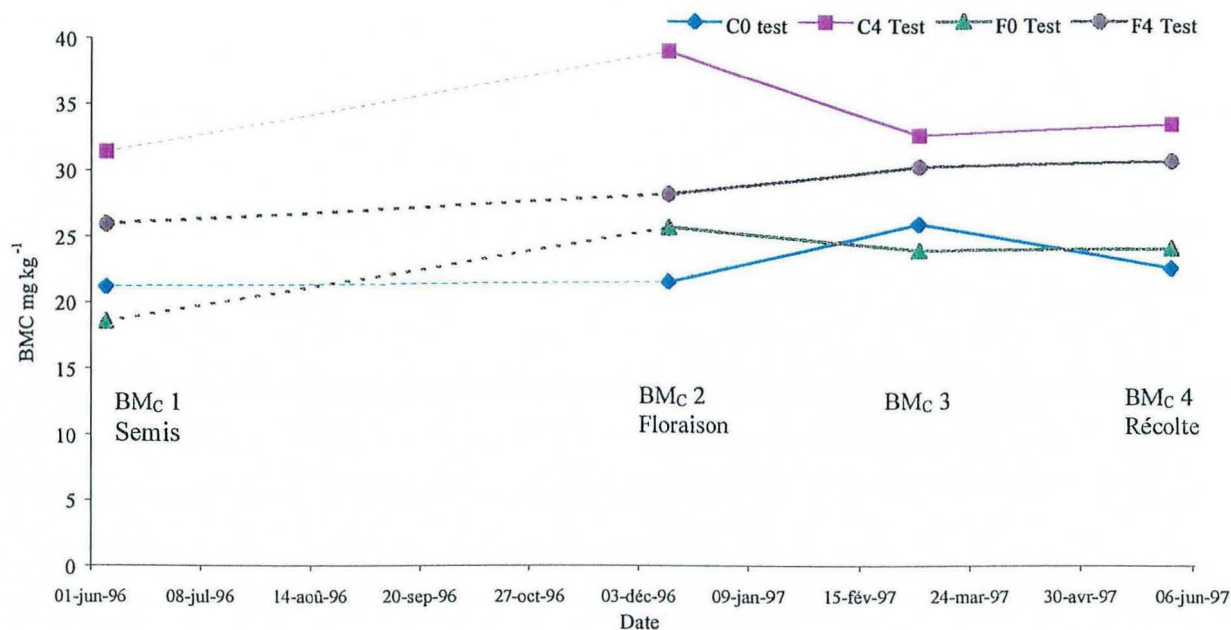


Figure 24 : Evolution de la biomasse microbienne (BMC en $mg\ kg^{-1}$) sur l'essai RMO pérenne de Bambey au cours de l'année 1996-97.

Tableau XXIII : Matrice des corrélations (partielle) pour les composantes biologiques des sols de l'essai RMO pérenne de Bambey, campagne 1996.

	Nit _{nt}	BMC1	BMC2
Nit _{nt}	1	0.4085	0.5701
BMC1	0.4085	1	0.7289
BMC2	0.5701	0.7289	1
Grains	0.8074	0.2170	0.4434
Paille	0.7814	0.2700	0.5299
MS totale	0.8077	0.2453	0.5965
Export.N	0.8693	0.3555	0.7130
Export.P	0.8311	0.3728	0.6577
Export.K	1.0000	0.4085	0.5701
Export.Ca	0.6311	0.2439	0.3856
Export.Mg	0.6816	0.1288	0.4567
Argiles	-0.2235	-0.1408	-0.5290
Limons fins	0.1349	0.1413	0.2633
Sables	0.0678	0.0096	0.2077
Ct	0.0134	0.6951	0.5588
Nt	0.3125	0.8099	0.8406
Pass	0.0444	0.5412	0.3359
Ca	0.0689	0.3903	0.2995
Mg	0.2220	0.6843	0.7018
K	0.4699	0.4915	0.0194
CEC	0.1386	0.3209	0.4091
pHKCl	0.5204	0.6826	0.5008
pHeau	0.4471	0.7120	0.3339

Les corrélations significatives sont signalées en gras.

Les corrélations significatives ≥ 0.700 sont soulignées.

4.3.2.2 A Bambej

Les biomasses mesurées avant campagne en 1996 sont du même ordre qu'à Thyssé-Kaymor car comprises entre 19 et 21 mg kg⁻¹ pour les placettes « test » sans apports de matière organique et entre 26 et 31 mg kg⁻¹ respectivement pour F4 et C4 « test » (Figure 24). L'arrière-effet de la dose est hautement significatif, ce que nous retrouvons dans les quotients microbiens de 1.31 et 1.35% pour C0 et F0 « test », et 1.53 et 1.55% pour F4 et C4 « test », d'où l'impact positif de l'apport de matière organique qui, en plus de ralentir la perte de carbone total du sol, permet également de favoriser l'accroissement de la population microbienne de façon relativement durable puisque le précédent apport avait été réalisé en 1994. Là aussi, l'évolution de la BM_C pendant la campagne 1996 ne nous est pas connue. Pendant la saison sèche 1996-97, la BM_C est identique à ce qui avait été mesuré avant campagne sur la série compost. Par contre, le léger accroissement de BM_C entre la première date (avant campagne) et les mesures après campagne est significatif sur la série fumier. En ce qui concerne les relations entre la BM_C mesurée avant et après campagne (soit BM_{C1} et BM_{C2} pour 1996) d'une part, et la production végétale ou les caractéristiques physico-chimiques du sol d'autre part (Tableau XXIII), c'est la BM_C mesurée après campagne qui présente les meilleures liaisons avec la production végétale et les exportations minérales avec un R² de 0.508 pour les exportations en azote. La BM_C est également liée au carbone total du sol (R² respectivement de 0.483 et 0.312 pour BM_{C1} et BM_{C2}), à l'azote total (R² compris entre 0.656 et 0.707), ainsi qu'aux pH, notamment pour BM_{C1}. Quant à la production d'azote nitrique (en kg ha⁻¹), c'est avec BM_{C2} qu'elle présente la meilleure liaison avec un R² de 0.325.

Pendant l'hivernage 1997, la BM_C croît entre le semis et le stade post-récolte (Figure 25). Cette augmentation est constante pour les placettes C4 et F4 « continu » ayant reçu un apport de matière organique l'année précédente alors que les autres traitements connaissent un fléchissement marqué au stade émission des gynophores (9 octobre 1997). L'arrière-effet de cet apport est significatif par rapport aux autres placettes n'ayant jamais reçu de matière organique ou n'en ayant bénéficié qu'en 1992 et 1994. Quant aux relations entre la BM_C et les autres variables (Tableau XXIV), c'est avec les BM_C mesurées en cours d'hivernage, telles BM_{C2} et BM_{C3} (22 septembre et 9 octobre 1997), que l'on obtient les meilleures liaisons significatives. En effet, ces deux séries de biomasses (par ailleurs très rapprochées dans le temps) présentent des coefficients de corrélation très proches et relativement élevés pour ce qui concerne Nit_{nt} (R² = 0.398 et 0.507 respectivement pour BM_{C2} et BM_{C3}) et les différents paramètres de la production végétale ainsi que les exportations minérales. La BM_C est moins

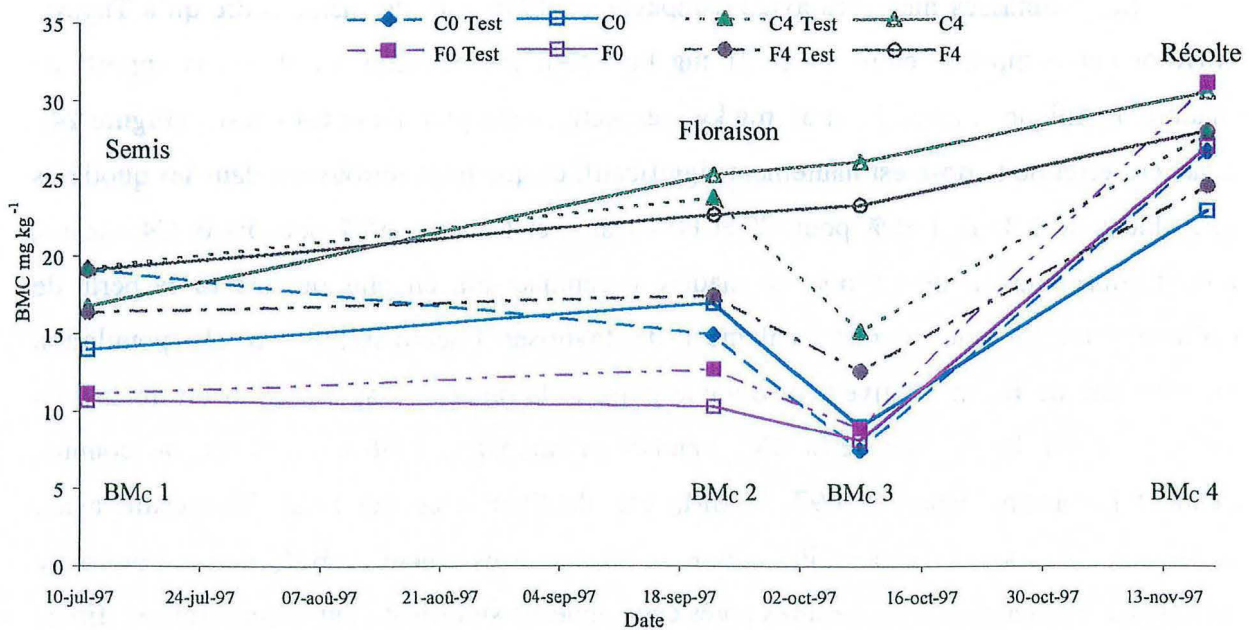


Figure 25 : Evolution de la biomasse microbienne (BMC en $mgC\ kg^{-1}$) sur l'essai RMO pérenne de Bambej au cours de l'hivernage 1997.

Tableau XXIV : Matrice des corrélations (partielle) pour les composantes biologiques de l'essai RMO pérenne de Bambej, campagne 1997.

	Nit _{nt}	BMC1	BMC2	BMC3	BMC4
Nit _{nt}	1	0.2196	0.6311	<u>0.7121</u>	0.4410
BMC1	0.2196	1	0.3942	0.3210	-0.1358
BMC2	0.6311	0.3942	1	<u>0.7371</u>	0.1781
BMC3	<u>0.7121</u>	0.3210	<u>0.7371</u>	1	0.3151
BMC4	0.4410	-0.1358	0.1781	0.3151	1
Grains	<u>0.7384</u>	0.2489	0.6692	0.6722	0.0041
Gousses	<u>0.7592</u>	0.2563	0.6986	<u>0.7141</u>	0.0219
Fanes	<u>0.7792</u>	0.3688	<u>0.7189</u>	<u>0.7935</u>	0.0567
MS totale	<u>0.7873</u>	0.3342	<u>0.7257</u>	<u>0.7797</u>	0.0448
Export.P	<u>0.7918</u>	0.2990	<u>0.7412</u>	<u>0.7797</u>	0.0635
Export.K	<u>0.8361</u>	0.2875	0.5914	<u>0.7807</u>	0.1221
Export.Ca	<u>0.7534</u>	0.3372	0.6797	<u>0.7346</u>	0.0569
Export.Mg	<u>0.7639</u>	0.3814	<u>0.7590</u>	<u>0.7662</u>	0.0593
Argiles	-0.214	-0.294	-0.403	-0.388	0.1342
Limons fins	0.1564	-0.1121	-0.0210	-0.0796	-0.0447
Sables	0.1156	0.4217	0.4470	0.4673	-0.1207
Ct	0.6223	0.4120	0.6271	0.5399	0.1451
Nt	0.4897	0.2073	0.4831	0.2946	0.2709
Pass	-0.0259	-0.1460	-0.217	-0.0740	0.2550
Ca	0.4045	0.5464	0.5049	0.3992	-0.0194
Mg	0.4253	0.5714	0.6531	0.4401	-0.1436
K	0.6872	0.4638	0.6374	0.6863	0.0824
CEC	0.3634	0.4541	0.4296	0.4156	-0.0269
pHKCl	0.5557	0.3927	0.5783	0.5237	0.0476
pHeau	0.6830	0.5075	0.7677	<u>0.7159</u>	-0.0206

Les corrélations significatives sont signalées en gras.

Les corrélations significatives ≥ 0.700 sont soulignées.

liée avec les caractéristiques physico-chimiques du sol qu'avec la production végétale mais on retrouve des résultats du même ordre que ceux existants entre le sol et Nit_{nt} . Comme pour Nit_{nt} , les meilleures relations s'établissent avec Ct, K échangeable et les pH, notamment le pH_{eau} ($R^2 = 0.589$ et 0.512 respectivement pour BM_C2 et BM_C3). On note également une liaison antagoniste entre la teneur en argiles et la BM_C ($R = -0.403$ pour BM_C2).

Sur l'essai RMO annuel cultivé en mil en 1997 (Figure 26), il n'existe pas de différence significative entre les traitements malgré le léger avantage pris par le traitement F4. De plus, on n'observe pas d'accroissement de la BM_C entre le début et la fin de la campagne. La seule date significativement différente est BM_C3 , comme pour l'essai RMO pérenne, qui correspond au stade épiaison du mil, pour laquelle la BM_C présente une baisse hautement significative avec, en moyenne 25 mg kg^{-1} alors que l'on relève 34 mg kg^{-1} pour les stades semis et montaison et 39 mg kg^{-1} après la récolte. Les niveaux de biomasse rencontrés au stade semis sont plus élevés que sur l'essai RMO annuel que sur l'essai RMO pérenne avec respectivement 34 et 16 mg kg^{-1} en moyenne (avec un maximum pour RMO pérenne à 20 mg kg^{-1}). Dans le cas de l'essai RMO annuel, le q_{BM_C} passe de 0.95% en début de campagne à des valeurs comprises entre 1.42 et 1.86% en fin de campagne. En effet, malgré la forte perte en MOS au cours de cette campagne, la BM_C est restée stable.

En ce qui concerne les relations entre la biomasse microbienne et la production végétale (Tableau XXV), toutes les dates de mesure sont liées significativement mais présentent des R^2 faibles (inférieurs à 0.462 , valeur observée entre BM_C3 et les exportations en calcium). De plus, si les liaisons entre BM_C et caractéristiques physico-chimiques du sol sont, comme pour Nit_{nt} , très limitées lorsqu'il s'agit de l'état du sol avant campagne, elles s'accroissent si ce sont les analyses après campagne qui sont prises en compte. Dans ce cas, c'est encore avec BM_C3 que l'on observe les meilleures relations, notamment la MOS ($R^2 = 0.286$ et 0.257 respectivement pour Ct et Nt), le Pass ($R^2 = 0.339$) et le complexe absorbant ($R^2 = 0.471$ et 0.393 pour le Ca échangeable et pH_{KCl}).

4.3.3 Discussion

On constate que la baisse du taux de matière organique du sol, attribuée à la remise en culture (Pieri, 1991), est liée à une diminution de la population microbienne et de l'activité nitrifiante. En effet, nous avons observé qu'à conditions climatiques identiques, la biomasse microbienne et la nitrification nette initiales sont plus élevées sur une parcelle de défriche

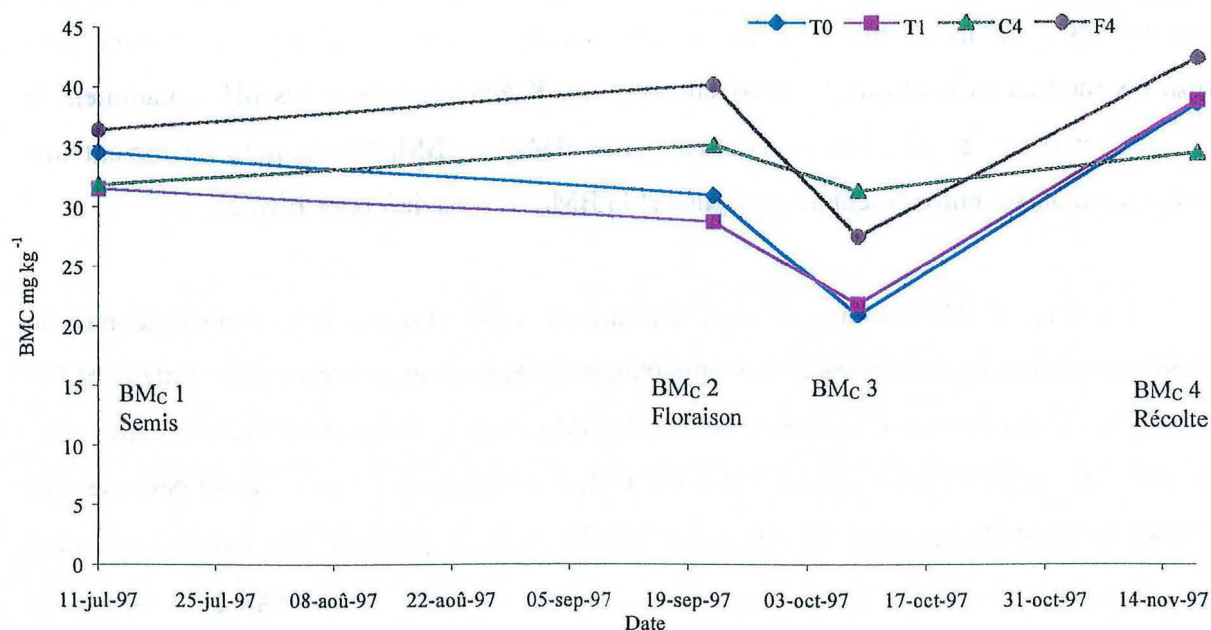


Figure 26 : Evolution de la biomasse microbienne (BMC en $mgC\ kg^{-1}$) sur l'essai RMO annuel de Bambeby pendant l'hivernage 1997.

Tableau XXV : Matrices des corrélations (partielles) entre les composantes biologiques du sol, la production végétale et les caractéristiques physico-chimiques du sol sur l'essai RMO annuel de Bambeby (campagne 1997).

Sols avant campagne

	Nit _{nt}	BMC1	BMC2	BMC3	BMC4
Nit _{nt}	1	-0.4305	-0.0418	0.1824	0.0462
BMC1	-0.4305	1	0.3151	0.3887	0.2491
BMC2	-0.0418	0.3151	1	0.3504	0.3094
BMC3	0.1824	0.3887	0.3504	1	0.1390
BMC4	0.0462	0.2491	0.3094	0.1390	1
Grains	0.0897	0.5506	0.5310	0.1993	0.5282
Pailles	0.5288	0.1782	0.5735	0.5702	0.5132
MS totale	0.4339	0.3150	0.6262	0.4586	0.5631
Export.N	0.3288	0.4529	0.6048	0.4893	0.5380
Export.P	0.0136	0.6648	0.6767	0.4462	0.3833
Export.K	0.2951	0.2566	0.4882	0.5426	0.3160
ExportCa	0.3517	0.2019	0.4994	0.6795	0.1268
ExportMg	0.5361	0.0299	0.5109	0.5358	0.2812
Argiles	0.1625	-0.6075	-0.4146	-0.4833	-0.3959
Limon fin	0.1020	-0.5641	0.1428	0.0285	0.0323
Sables	-0.1963	0.7419	0.3023	0.3724	0.3531
Ct	0.1208	-0.3916	0.1616	0.1106	-0.0424
Nt	0.0738	-0.6046	0.1197	0.0058	-0.1445
Pass	0.2678	-0.4526	-0.2433	-0.2281	-0.0546
Ca	-0.1084	-0.2291	0.3582	-0.0037	0.3583
Mg	0.0944	-0.6525	-0.0046	-0.2452	0.0102
K	0.1212	-0.4626	0.0396	-0.1594	0.2246
CEC	0.0501	-0.4571	0.2305	0.0372	0.1333
pHKCl	-0.0189	-0.1444	0.4031	0.2298	0.3735
pHeau	0.0072	-0.0354	0.4725	0.4550	0.2190

Sols après campagne

	Nit _{nt}	BMC1	BMC2	BMC3	BMC4
Nit _{nt}	1	-0.4305	-0.0418	0.1824	0.0462
BMC1	-0.4305	1	0.3151	0.3887	0.2491
BMC2	-0.0418	0.3151	1	0.3504	0.3094
BMC3	0.1824	0.3887	0.3504	1	0.1390
BMC4	0.0462	0.2491	0.3094	0.1390	1
Grains	0.0897	0.5506	0.5310	0.1993	0.5282
Pailles	0.5288	0.1782	0.5735	0.5702	0.5132
MS totale	0.4339	0.3150	0.6262	0.4586	0.5631
Export.N	0.3288	0.4529	0.6048	0.4893	0.5380
Export.P	0.0136	0.6648	0.6767	0.4462	0.3833
Export.K	0.2951	0.2566	0.4882	0.5426	0.3160
ExportCa	0.3517	0.2019	0.4994	0.6795	0.1268
ExportMg	0.5361	0.0299	0.5109	0.5358	0.2812
Argiles	-0.0273	-0.1559	-0.2555	-0.0524	-0.0024
Limon fin	-0.1615	0.0296	0.3961	0.3118	0.0539
Sables	0.2808	0.0901	-0.0004	-0.1498	-0.0266
Ct	0.1939	0.4616	0.3666	0.5347	0.2912
Nt	0.5100	0.0158	0.2059	0.5068	0.1334
Pass	0.3585	0.0047	0.5313	0.5827	-0.3473
Ca	0.4709	0.0670	0.3951	0.6862	0.2549
Mg	0.3875	-0.1806	0.2462	0.5087	0.0240
K	-0.3376	0.2377	0.6107	0.1810	0.0472
CEC	0.4498	-0.0189	0.3981	0.5833	0.3005
pHKCl	0.0552	0.4070	0.5364	0.6266	0.3832
pHeau	-0.1715	0.3763	0.5451	0.4447	0.2248

Les corrélations significatives sont signalées en gras.
Les corrélations significatives ≥ 0.700 sont soulignées.

récente que sur une parcelle défrichée depuis 5 ans. Ceci est dû à la modification de la quantité mais aussi probablement de la nature de la MOS induite par le changement de pratique culturale (Collins *et al.*, 1992 ; Kandeler *et al.*, 1999). On retrouve bien d'ailleurs cette transformation rapide de la qualité de la MOS dans l'évolution du q_{BM_C} de l'essai RMO annuel. En effet, malgré cette importante dégradation du statut organique du sol, la BM_C s'est maintenue à son niveau initial. Elle n'a donc pas, contrairement à Badiane *et al.* (1999) qui se situaient sur des sols « stabilisés » (en termes d'évolution de leur fertilité chimique), augmenté de façon progressive tout au long du cycle cultural. Malgré la chute de la MOS, la BM_C s'est maintenue (et le q_{BM_C} s'est accru), cela pourrait s'expliquer par une augmentation de la matière organique biodisponible (Chaussod *et al.*, 1992) en relation avec la dégradation de la matière organique du sol.

Par ailleurs, la BM_C s'est révélée être la variable du sol la plus sensible aux arrière-effets des apports de matière organique réalisés depuis plus de 2 ans en faisant apparaître des différences significatives entre traitements, inexistantes pour les autres variables issues du sol. La BM_C et la MS totale sont donc les seules variables encore sensibles à l'arrière-effet de deux apports de matière organique 3 et 4 ans après leur application.

En ce qui concerne les liaisons entre les différentes variables étudiées, les caractéristiques biologiques (Nit_{nt} et BM_C) et la MS totale apparaissent liées entre elles d'une part et avec la MOS et le complexe absorbant d'autre part. La nitrification nette (Nit_{nt}) est essentiellement liée au rendement (sous toutes ses composantes), expliquant une grande partie de sa variabilité. Elle reste néanmoins liée au complexe absorbant (pH notamment) et, dans une moindre mesure, à la MOS. Nit_{nt} est également liée à la BM_C qui se montre plus dépendante de la MOS et du complexe absorbant que Nit_{nt} . Comme Nit_{nt} , la BM_C est également liée à la production végétale. On peut également se demander si la teneur en argile, souvent citée pour son rôle protecteur vis-à-vis de la BM_C , est une variable pertinente. Si les résultats de l'essai de Thyssé-Kaymor semble le confirmer, il n'en va pas de même pour les essais de Bambey. Pour tenter d'expliquer cette faible relation entre Nit_{nt} et la teneur en argile, pourtant très forte à Thyssé-Kaymor, nous nous appuyerons sur le constat fait par Dommergues dans les années 70. Se fondant sur un ensemble de travaux réalisés en Afrique de l'Ouest, Dommergues (1972) avait défini cinq concepts fondamentaux concernant les sols sableux cultivés et dont la validité n'a jamais été démentie. Un de ces concepts est le suivant :

« Des variations, même minimales, de certaines caractéristiques des sols dior peuvent avoir des conséquences considérables sur leur comportement de ces sols et, par suite, sur leur

fertilité ». Cet auteur ajoutait : « c'est le cas de leur teneur en argile et de leur activité nitrifiante, caractéristiques qui, l'une et l'autre, sont très faibles en valeur absolue ».

En effet, à Bambey, le taux d'argile est très faible (de l'ordre de 3%) et relativement homogène ; il est plus élevé à Thyssé (de l'ordre de 5%) et probablement plus variable, expliquant vraisemblablement que le degré de liaison $Nit_{nt} = f(\% \text{ argile})$ soit beaucoup plus élevé à Thyssé qu'à Bambey.

4.3.4 En résumé

On retiendra pour l'essentiel que :

- la nitrification nette s'est révélée être un bon indicateur de la nitrification brute, ce qui signifie qu'*a priori* on pourrait se dispenser de l'usage délicat et coûteux de l'outil ^{15}N et ne réaliser que la quantification des flux nets. Il semble toutefois nécessaire de vérifier une telle relation dans d'autres conditions.
- dans tous les essais, la fourniture d'azote sous forme nitrique estimée par interpolation linéaire des données ponctuelles de nitrification nette est également reliée à la production de MS totale et au rendement,
- la nitrification nette, à son optimum en début de campagne, connaît ensuite une baisse progressive pendant l'hivernage jusqu'à devenir nulle au moment de la récolte et au cours de la saison sèche. La petite reprise de nitrification observée juste après la récolte pourrait être due à la mort des racines et à la libération de leur contenu cellulaire.
- dans des conditions climatiques identiques, la nitrification nette, la fourniture de N et la biomasse microbienne sont plus élevées sur un sol récemment remis en culture que sur une parcelle cultivée depuis 6 années,
- la biomasse microbienne tend à s'accroître entre le début et la fin de la campagne, et est souvent plus importante dans les parcelles ayant reçu un amendement organique,
- la biomasse microbienne évolue dans le même sens que la fourniture de N estimée grâce aux flux de nitrification nette.

4.4 CONCLUSION

Les apports de matière organique testés (fumiers et composts) dans ces essais permettent, certes, une différenciation des sols, tant au niveau de leurs caractéristiques physico-chimiques et biologiques qu'en ce qui concerne la production végétale. Toutefois, ces différences sont faibles en regard de la chute de toutes ces caractéristiques chimiques et biologiques induite par la remise en culture qui provoque une dégradation fulgurante de l'état des sols étudiés. De plus, l'arrière-effet des apports de matière organique de plus de 2 années sont très limités sur la composante chimique de la fertilité mais encore perceptibles sur la production végétale et la biomasse microbienne.

Par ailleurs, des relations entre variables biologiques et caractéristiques physico-chimiques du sol sont mises en évidence mais leur degré de liaison semble varier selon le site. On remarque toutefois que certaines caractéristiques, telles le complexe absorbant ou le pH, reviennent régulièrement comme variables explicatives de la nitrification ou de la population microbienne, avec plus ou moins de poids. Quant à la matière organique du sol et à la granulométrie (fraction argileuse notamment), leur rôle explicatif est plus limité. Les variables biologiques sont par contre systématiquement et étroitement liées à la MS totale et/ou plusieurs de ses composantes. Enfin, il semble que plus un sol se dégrade (suite à un changement de pratique culturale par exemple), plus les variables biologiques deviennent dépendantes des caractéristiques chimiques classiques du sol.

Ces essais en station permettent, certes, la recherche de relations entre divers groupes de variables (caractéristiques chimiques et biologiques des sols, rendements) afin de mieux comprendre, sinon les mécanismes qui les régissent, du moins leurs interactions réciproques, mais elles ne peuvent en aucun cas rendre compte de la très grande variabilité des situations que l'on peut rencontrer en « milieu réel », c'est-à-dire en milieu paysan. C'est la raison pour laquelle la prochaine partie s'attachera à « explorer » cette variabilité dans nos deux zones d'étude et tentera d'en extraire des groupes de comportements homogènes et de confirmer, ou d'infirmer, les liaisons mises en évidence en station.

CHAPITRE 5

APPROCHE EN MILIEU PAYSAN DES EFFETS D'UN APPORT DE FUMIER SUR L'ETAT DU SOL ET SES CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES

5.1 INTRODUCTION	65
5.2 RAPPEL DES ESSAIS	65
5.3 VARIABILITE INITIALE DU MILIEU D'ETUDE	66
5.3.1 Les sols	66
5.3.2 Les fumiers	68
5.3.3 Déroulement de la campagne	71
5.3.4 La production végétale	72
5.3.5 Les caractéristiques biologiques des sols	73
5.3.5.1 Nitrification nette in situ (Nit _{nt}) (Figures 31 et 32)	73
5.3.5.2 Nitrification nette potentielle (Figures 33 et 34)	74
5.3.5.3 Biomasse microbienne (Figures 35 et 36)	75
5.3.6 Liaisons entre toutes les variables étudiées	76
5.4 EFFET DE L'APPORT DE FUMIER	77
5.4.1 Les caractéristiques physico-chimiques des sols	77
5.4.2 La production végétale	77
5.4.3 Les caractéristiques biologiques des sols	78
5.4.3.1 Nitrification nette in situ (Figure 39)	78
5.4.3.2 Nitrification nette potentielle (Figure 40)	78
5.4.3.3 Biomasse microbienne (Figure 41)	79
5.5 CONSTITUTION DE GROUPES ET TYPOLOGIE DES DIVERS COMPORTEMENTS BIOLOGIQUES DES SOLS	80
5.5.1 Groupes constitués à partir de la caractérisation biologique des parcelles	81
5.5.1.1 A Nioro	81
5.5.1.2 A Bambey	82
5.5.2 Groupes constitués à partir de la caractérisation des fumiers épandus	82
5.5.2.1 A Nioro	82
5.5.2.2 A Bambey	83
5.5.3 Groupes constitués à partir de la caractérisation physico-chimique des sols	83
5.5.3.1 A Nioro	83
5.5.3.2 A Bambey	84
5.5.4 Groupes constitués sur les données de production végétale	85
5.5.4.1 A Nioro	85
5.5.4.2 A Bambey	85
5.6 DISCUSSION	88
5.7 CONCLUSION	90

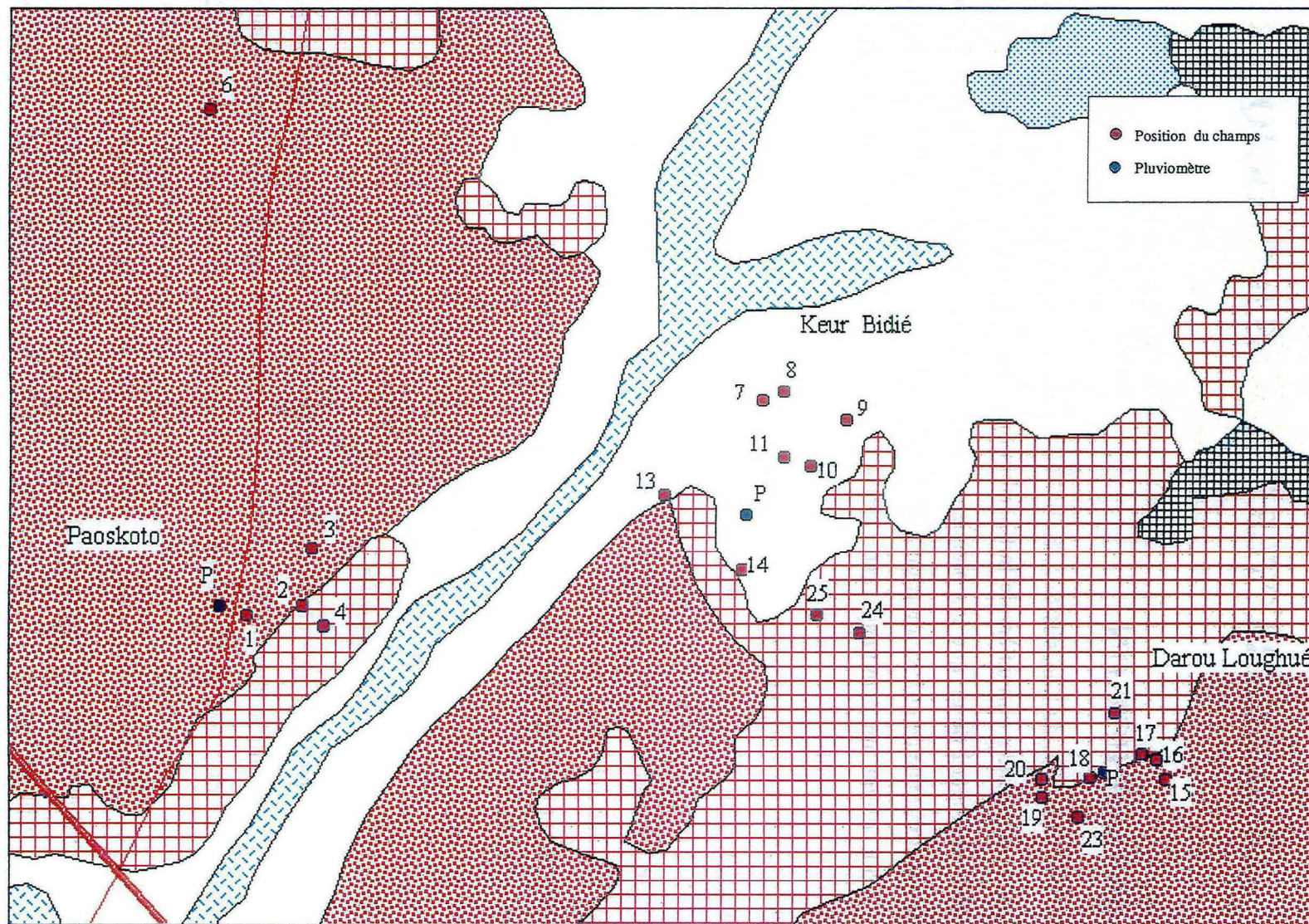
5 APPROCHE EN MILIEU PAYSAN DES EFFETS D'UN APPORT DE FUMIER SUR L'ETAT DU SOL ET SES CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES

5.1 INTRODUCTION

Les tentatives de transposition, en milieu paysan, de résultats expérimentaux obtenus en station, notamment en matière de fertilisation organique, conduisent à des résultats parfois décevants en regard de ce que les premières conclusions pouvaient laisser espérer. La très grande variabilité de ce nouveau terrain d'expérimentation n'est sans doute pas étrangère à cet écart. Loin d'être un handicap, cette variabilité du milieu paysan peut permettre la confrontation à tout une gamme de situations qu'il est rarement possible d'approcher en station. C'est la raison pour laquelle nous avons mis en place, lors de la campagne 1997, un réseau de tests multilocaux dont l'objectif est de définir des typologies de comportement des sols afin de mieux comprendre la variabilité de la réponse de la culture céréalière à un apport de fumier. Cette étude a été conduite sur la base de variables relatives à la fertilité chimique du sol, son état biologique ou encore la production végétale. Ces tests ont été réalisés dans deux zones agro-écologiques où nos essais en station avaient pris place : le Nord et le Sud Bassin Arachidier.

5.2 RAPPEL DES ESSAIS

Pour chaque zone, 25 champs ont été choisis pour représenter les sols les plus fréquemment rencontrés. Toutefois, les résultats présentés ici ne portent que sur 22 champs pour la zone 1 (Z1 : zone de Nioro, Sud Bassin Arachidier), 7 champs pour la zone 2 (Z2 : zone de Bambey, Nord Bassin Arachidier), les parcelles manquantes ayant été éliminées suite à des conditions environnementales particulières (conjonction de poches de sécheresse et d'attaques de sauteriaux : 18 cas) ou à un non-respect du protocole d'essai par le paysan (3 cas). On rappelle que sur chaque champ deux blocs de deux placettes ont été mis en place. Chaque bloc comporte une placette recevant du fumier et une placette représentant le témoin



Position des parcelles en milieu paysan de la zone de Nioro sur la carte pédologique (selon R.Bertrand, 1971).

adjacent. Toute fertilisation minérale est exclue. Tous les champs sont semés en mil Souna III, à intervalle de 1 * 1 m, sur un précédent arachide.

5.3 VARIABILITE INITIALE DU MILIEU D'ETUDE

5.3.1 Les sols

En termes de classification FAO (ISSS Working Group RB, 1998), nos deux zones d'étude recouvrent les lixisols pour Nioro et les arenosols pour Bambey. On retrouve ces sols sous les noms d'ultisols et d'alfisols dans la classification américaine (Singer et Munns, 1996).

Pour la zone de Nioro (Z1), les champs, bien que géographiquement proches, sont situés sur les trois types dominants de sols agricoles de la zone. En effet, sur la carte pédologique de Bertrand (1971) (voir carte 3), les quatre types de sols les plus présents sont définis dans la classification française comme:

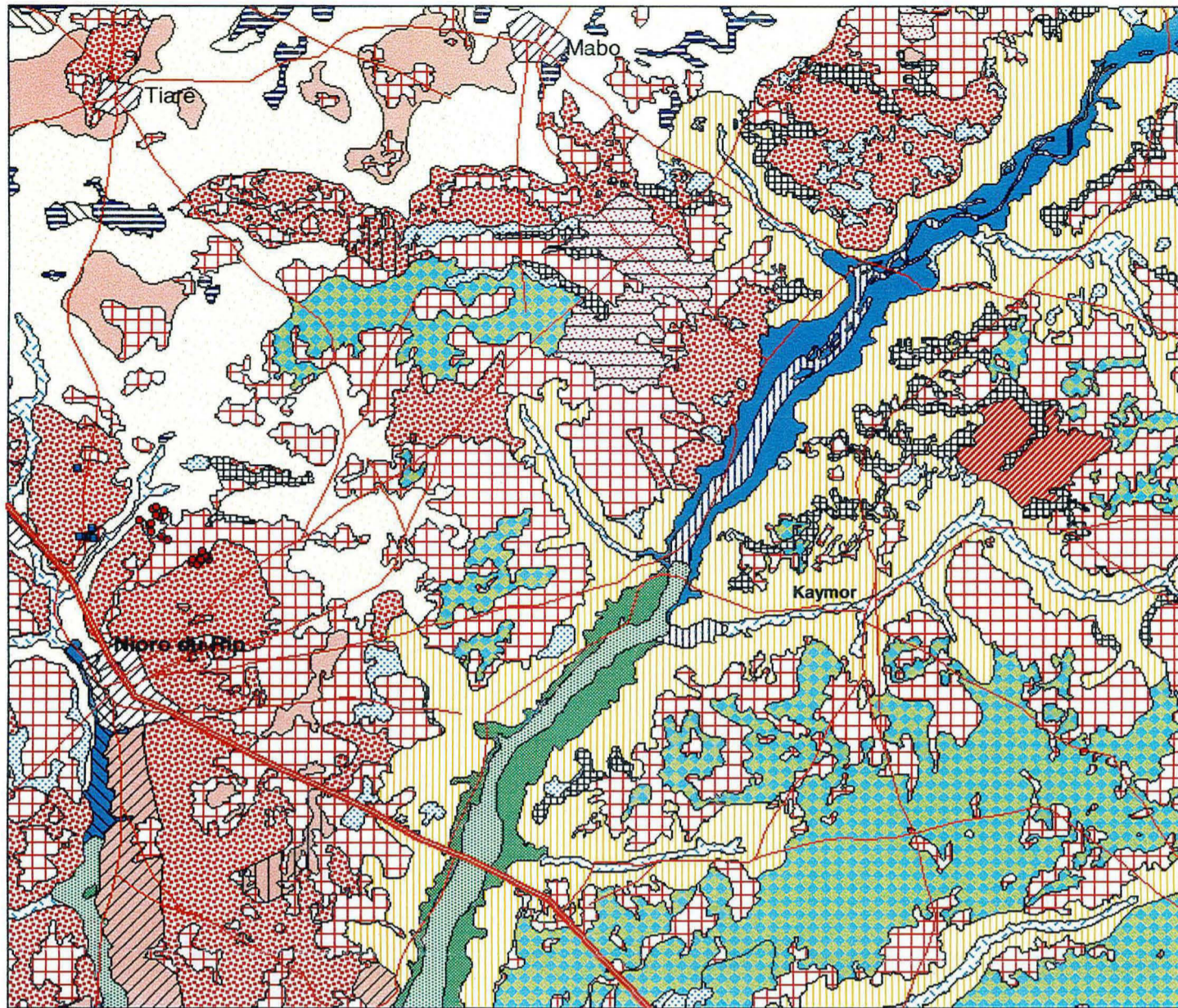
- les sols ferrugineux tropicaux lessivés, tronqués indurés et sols peu évolués d'érosion,
- les sols rubéfiés, polyphasés, tronqués et remaniés, colluviaux sur grès sablo-argileux,
- les sols beiges ferrugineux tropicaux lessivés, parfois hydromorphes,
- les sols ferrugineux tropicaux lessivés, tronqués à taches et nodules.

Toutefois, sur le terrain, il apparaît que ces derniers, essentiellement localisés au sud de Kaymor, près de la frontière avec la Gambie, ne sont pas cultivés et sont recouverts d'une végétation arborée relativement dense. Par ailleurs, les orientations culturelles définies en 1971 ont, depuis cette date, grandement évolué. En effet, la culture du riz suggérée par Bertrand (1971) dans les orientations culturelles des sols ne s'est pas développée. Quant à la culture du cotonnier, elle reste très marginale alors que tend à se développer la culture de la pastèque, financièrement très attractive. Les cultures de mil et d'arachide (de bouche ou d'huilerie) restent largement majoritaires.

Les champs choisis (voir zoom ci-contre : carte 4, la légende est identique à la carte 3, page précédente) recouvrent les trois premiers types de sols décrits par Bertrand. On restera prudent sur le rattachement exact des parcelles limitrophes (Z1-P2, 13, 14, 16, 17, 18 et 20) à un type de sol étant donné l'erreur circulaire probable de la mesure au GPS (Global Positioning System) comprise entre 30 et 50 m, voire 62 m pour l'une d'entre elles (Z1-P9, pour l'identification et la position des champs voir annexe 10). En effet, 1 mm sur le zoom

Tableau XXVI : Caractéristiques moyennes des sols des essais en milieu paysan avant et après campagne, à Nioro et à Bambey

	Granulométrie			Matière organique (C et N)				Passimilable Après campagne mg kg ⁻¹	Complexe d'échange après campagne (cmol kg ⁻¹)								pH après campagne		
	Argiles 0-2 µm	Limons fins 2-20 µm	Sables 20-2000 µm	Avant campagne Ct %	Après campagne Nt mg kg ⁻¹	Avant campagne Ct %	Après campagne Nt mg kg ⁻¹		Ca	Mg	K	Na	Mn	Al	H	S	CEC	pHKCl	pHeau
Z1-S																			
Moyenne	7,5	4,7	87,9	0,35	286	0,35	293	7,67	1,01	0,49	0,06	0,02	0,05	0,01	0,02	1,57	1,75	4,91	5,30
Ecart type	2,0	1,2	2,9	0,05	37	0,06	49	3,06	0,37	0,15	0,03	0,01	0,03	0,02	0,01	0,52	0,48	0,45	0,44
Minima	4,1	2,6	79,6	0,24	215	0,24	187	5,03	0,35	0,20	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,63	0,92	4,10	4,54
Maxima	12,3	8,1	92,7	0,46	401	0,49	392	24,23	1,95	0,93	0,15	0,05	0,12	0,10	0,06	2,83	3,00	5,95	6,34
Z1-F																			
Moyenne	7,8	4,8	87,5	0,34	280	0,40	331	8,53	1,10	0,64	0,08	0,01	0,04	0,01	0,01	1,83	1,99	5,29	5,57
Ecart type	2,3	1,0	3,0	0,06	43	0,08	59	2,65	0,41	0,21	0,04	0,01	0,03	0,01	0,01	0,59	0,55	0,58	0,50
Minima	4,1	2,9	78,0	0,21	205	0,27	205	5,16	0,42	0,28	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,82	1,11	4,15	4,61
Maxima	15,1	6,9	92,9	0,49	401	0,61	457	19,48	2,20	1,15	0,15	0,04	0,12	0,07	0,05	3,28	3,41	6,40	6,60
Z2-S																			
Moyenne	6,4	1,5	92,1	0,24	222	0,22	199	9,50	1,87	0,93	0,08	0,02	0,01	0,01	0,00	2,90	2,98	5,33	5,83
Ecart type	1,7	0,6	1,7	0,05	40	0,05	36	3,80	0,52	0,33	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,83	0,84	0,49	0,31
Minima	3,8	0,5	89,4	0,16	159	0,15	140	4,90	0,94	0,40	0,05	0,01	0,01	0,00	0,00	1,43	1,49	4,50	5,13
Maxima	9,7	2,8	95,7	0,36	299	0,37	280	17,94	2,63	1,57	0,13	0,03	0,03	0,02	0,01	4,14	4,28	6,45	6,40
Z2-F																			
Moyenne	6,5	1,7	91,7	0,24	224	0,26	231	14,48	1,78	0,92	0,12	0,03	0,01	0,01	0,00	2,85	2,96	5,49	5,97
Ecart type	2,0	0,7	2,6	0,09	51	0,09	59	4,82	0,39	0,26	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,64	0,65	0,46	0,25
Minima	3,5	1,0	85,7	0,15	168	0,18	168	10,05	1,05	0,57	0,05	0,01	0,01	0,00	0,00	1,77	1,83	4,80	5,46
Maxima	10,6	3,6	95,5	0,53	383	0,54	411	28,11	2,90	1,74	0,14	0,05	0,02	0,02	0,01	4,80	4,92	6,30	6,32



0 5 km

SYMBLES	TYPES DE SOLS DOMINANTS	ORIENTATIONS CULTURES
	Lithosols sur cuirasse - régosols sur grès ferrugineux.	Reboisement - mise en défens.
	Sols peu évolués d'apport sur gravillons et cuirasse.	Reboisement pâturage - (médiocre).
	Sols ferrugineux tropicaux lessivés tronqués indurés et sols peu évolués d'érosion.	Reboisement - pâturage (moyen), mil, sorgho, arachide (médiocre à moyen).
	Sols ferrugineux tropicaux lessivés tronqués à taches et nodules.	Mil, sorgho, coton, tabac, (bon), arachide (moyen), riz pluvial (médiocre).
	Sols rubéfiés, polyphasés, tronqués et remaniés, colluviaux, sur grès sablo-argileux.	Mil, sorgho, coton, arachide, tabac, (bon).
	Sols beiges : ferrugineux tropicaux tronqués, remaniés, colluviaux, parfois hydromorphes.	Mil, sorgho, coton, arachide, tabac, (bon).
	Sols rouges : ferrugineux tropicaux lessivés, sur matériau dunaire + ou - remaniés.	Mil, arachide (bon) , sorgho, coton (médiocre à moyen).
	Sols beiges : ferrugineux tropicaux lessivés, parfois hydromorphes.	Mil, arachide (bon), sorgho, coton (moyen).
	Sols beiges : ferrugineux tropicaux lessivés remaniés à taches et concrétions.	Mil, sorgho, coton, arachide, tabac, (bon).
	Sols rouges et jaunes-rouges : ferrugineux tropicaux lessivés remaniés.	Mil, sorgho, coton, arachide, tabac, (bon).
	Sols peu évolués d'apport alluvial - sols hydromorphes à gley profond.	Mise en défens et reboisement sur les pentes fortes - riz - maraîchage (moyen à bon).
	Sols peu évolués d'apport hydromorphes - sols hydromorphes à gley (texture fine).	Riz (moyen à bon) maraîchage de contre saison (bon).
	Vertisols - sols hydromorphes à redistribution du calcaire - sols hydromorphes.	Sorgho (bon) - tabac - coton (moyen à médiocre).
	Sols hydromorphes à gley profond, sols ferrugineux tropicaux hydromorphes.	Riz - sorgho (moyen à médiocre).
	Sols hydromorphes à redistribution du calcaire - sols peu évolués hydromorphes.	Sorgho (bon) - tabac - coton (moyen à médiocre).
	Sols hydromorphes à ampligley non salés parfois moyennement humifères, vertisols.	Riz (moyen).
	Sols hydromorphes à ampligley riches en sulfates (Ca, Al, Fe).	Riz (médiocre à mauvais).
	Sols hydromorphes à gley salés.	Riz (médiocre à mauvais).
	Sols polyphasés à micro-horizons d'accumulation de fer.	
	Gravillons et cuirasse observés sous des colluvions.	Mil - arachide (moyen à médiocre).
	Sols rouges : ferrugineux tropicaux et sols rubéfiés.	Mil - arachide - sorgho - coton - tabac (bon).

Carte pédologique avec localisation du PAPEM de Thyssé - Kaymor et des champs d'essai en milieu paysan pour la zone de Nioro. (D'après R. Bertrand, 1971)

représente près de 24 m sur le terrain. Les champs 1 à 6 (n°5 éliminé) dépendent du village de Paoskoto, les champs 7 à 14 (n°12 éliminé) sont situés sur le village de Keur Bidie et les parcelles 15 à 25 (n°22 éliminé) autour de Darou Loughué.

Dans cette zone, les caractéristiques physico-chimiques initiales de nos sols (annexe 11) varient dans les limites (Tableau XXVI) :

- de 4.1 à 15.1 % pour les argiles,
- de 0.21 à 0.49 % pour le carbone total,
- de 205 à 401 mg kg⁻¹ pour l'azote total.

Dans le détail, les blocs pour lesquels on observe des placettes adjacentes hétérogènes (variabilité intra-bloc) sont rares (Z1-P4-B2, Z1-P11-B1, Z1-P13-B2). De même, les deux blocs d'un même champ sont très souvent homogènes (variabilité inter-blocs) à quelques exceptions près (Z1-P1, P2, P6, P25). Si l'on tente malgré tout un regroupement des champs par types de sols, il n'existe pas de différences significatives concernant les teneurs en Ct et Nt. Par contre, il existe une différence significative sur le critère argile+limons fins (voir Tableau XXVII).

Tableau XXVII : Test de comparaison des moyennes sur les teneurs en argile+limons fins des essais en milieu paysan en fonction du type de sol défini par Bertrand (1971).

	Sols rubéfiés polyphasés, tronqués	Sols ferrugineux tropicaux lessivés et peu évolués d'érosion	Sols beiges ferrugineux tropicaux
Argile+limons fins (%)	11.4 a	12.1 ab	15.1 bc

Les valeurs affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil $p = 0.05$.

Pour la zone de Bambey (Z2), nous ne disposons pas d'une carte pédologique comparable à celle réalisée par Bertrand pour Niore. Les 25 champs dépendent des villages de Ndiakane et de Keur Seck et recouvrent 14 sols « Dior », 8 sols « Dek-Dior » et 3 sols « Dek », les sols « Dek-Dior » étant uniquement localisés à Keur Seck. Les 7 parcelles restantes reposent sur les sols « Dior » du village de Ndiakane pour les parcelles 5, 12 et 13, et sur les sols « Dek-Dior » du village de Keur Seck pour les champs 18, 20, 21 et 24. Les sols « Dek » ont donc disparu de l'échantillonnage. Pour cette zone, les caractéristiques physico-chimiques initiales des sols (annexe 12) varient principalement entre :

- 3.5 et 10.6 % pour la teneur en argiles,
- 0.15 et 0.28% de carbone total (exceptionnellement 0.53% pour Z2-P21),
- 159 et 280 mg kg⁻¹ d'azote total (jusqu'à 383 mg kg⁻¹ pour Z2-P21).

Dans cette zone, la seule hétérogénéité remarquable se situe sur le champ Z2-P21. Cette variabilité est à la fois intra-bloc (B2) et inter-blocs.

Par rapport à Z1, et mise à part la parcelle Z2-P21, les sols de Z2 sont globalement plus sableux et moins bien pourvus en matière organique, ce qui correspond bien au gradient Nors-Sud de fertilité observé au Sénégal.

5.3.2 Les fumiers

Les quantités de fumier épandues ont été mesurées en nombre de charrettes ou de bassines utilisées par placette. On a tenu compte de l'artefact dû à la présence de sable afin de déterminer le poids moyen net de matière organique d'une charrette ou d'une bassine, sur la base du chargement de six charrettes des divers modèles existants (à rebords verticaux ou à rallonges horizontales) et de 50 bassines standard (volume 30 l) en utilisant 6 tas de fumier différents. L'ensemble de ces mesures nous donne (hors sable) :

- 168 kg MS de fumier par charrette avec un écart type de la moyenne de 30.3 kg,
- 6.5 kg MS de fumier par bassine avec un écart type de la moyenne de 0.90 kg.

Analyse de la variabilité des apports de fumier selon trois facteurs :

- Facteur quantité

Pour Z1, la quantité de matière organique apportée (voir annexe 13) est d'une charrette par placette de 77 m² soit 21.8 tMS ha⁻¹, à l'exception des parcelles 19, 20, 21 et 23 (16.4tMS ha⁻¹ pour P19 et P20, 10.9 tMS ha⁻¹ pour P21 et P23). Pour Z2, ces apports sont inférieurs, compris entre 8.4 et 21.8 tMS ha⁻¹, car les disponibilités en matière organique, ainsi qu'en moyens de transport (charrettes notamment) sont réduites dans cette zone. En effet, ce sont les champs pour lesquels le fumier a été transporté par bassines que la quantité épandue est la plus faible.

- Facteur « technique d'apport »

Ces apports peuvent sembler sans commune mesure avec les recommandations des organismes de développement qui préconisent 3 tMS ha⁻¹ tous les deux ans. Toutefois, ils correspondent à une pratique courante en milieu paysan : la gestion par taches. En effet, la disponibilité en fumier étant réduite (dans 19 cas sur 22, la disponibilité en fumier, estimée en fonction du nombre de charrettes disponibles pour chaque paysan, est inférieure à 800 kg MS

Tableau XXVIII : Compositions moyennes des fumiers par provenance

	N	P	K	Ca	Mg	C	cendres	Silice	C/N
	%	%	%	%	%	%	%	%	
Toutes provenances									
Moyenne	1,125	0,183	0,666	0,908	0,559	26,8	48,5	45,1	24,6
Ecart-type	0,487	0,089	0,401	0,482	0,204	8,8	16,1	16,5	5,9
Minimum	0,411	0,066	0,221	0,348	0,215	8,2	9,7	3,6	9,9
Maximum	4,050	0,497	2,301	2,630	1,286	46,1	80,6	79,3	35,2
Fumiers Z1									
Moyenne	1,090	0,147	0,649	0,738	0,560	28,0	46,3	43,2	25,5
Ecart-type	0,269	0,048	0,354	0,234	0,178	8,7	15,8	16,2	5,1
Minimum	0,411	0,066	0,221	0,348	0,225	9,7	22,3	19,6	14,9
Maximum	1,630	0,319	1,887	1,371	1,219	40,3	80,6	79,3	35,2
Fumiers Z2									
Moyenne	0,897	0,226	0,494	1,024	0,436	23,4	55,7	52,4	26,3
Ecart-type	0,240	0,068	0,154	0,464	0,121	6,0	10,5	11,1	3,5
Minimum	0,470	0,116	0,282	0,569	0,215	11,8	36,8	33,3	21,5
Maximum	1,490	0,366	0,687	1,914	0,624	34,1	77,0	75,2	31,6
Fumiers station de Bambey									
Moyenne	1,880	0,439	1,925	2,255	0,858	27,1	43,9	36,0	14,4
Ecart-type	0,100	0,033	0,376	0,375	0,090	3,0	5,7	6,9	0,8
Minimum	1,780	0,406	1,549	1,880	0,768	24,2	38,2	29,1	13,6
Maximum	1,980	0,471	2,301	2,630	0,948	30,1	49,5	42,8	15,2
Composts station de Bambey									
Moyenne	1,280	0,398	0,913	2,033	0,719	13,9	71,5	65,4	10,6
Ecart-type	0,450	0,099	0,372	0,451	0,136	5,7	7,2	8,8	0,7
Minimum	0,830	0,299	0,541	1,582	0,583	8,2	64,2	56,7	9,9
Maximum	1,730	0,497	1,284	2,484	0,855	19,6	78,7	74,2	11,3
Feuilles de <i>Gliricidia sepi</i>									
	4,050	0,213	0,763	1,853	1,286	46,1	9,7	3,6	11,4

ha⁻¹, voire à 400 kg MS ha⁻¹ dans 12 cas, en ne prenant en compte que la moitié de la superficie cultivée puisque l'apport n'est conseillé que tous les deux ans), ce dernier est généralement épandu de façon très localisée, sur les zones d'un champ où une production plus faible a été précédemment observée.

- Facteur qualité

Les éléments constitutifs de ces échantillons de fumier, notamment ceux d'origine animale, varient selon les zones. En effet, si la présence de déjections d'ânes ou de chevaux sont communes aux deux zones, on ne rencontre pratiquement aucun excrément de petits ruminants dans la zone de Nioro alors qu'ils sont fréquents à Bambey. A l'inverse, les fèces de bovins sont présents à Nioro mais pas à Bambey. Quant à la pollution du fumier par le sable, elle est très variable mais jamais négligeable, pouvant représenter jusqu'à 80% du poids total de la charrette, réduisant ainsi d'autant la richesse globale en matière organique du produit épandu (Z1-P24). Les analyses réalisées sur un échantillon global incluent la matière organique et le sable.

La composition des fumiers en éléments minéraux (annexe 13 et Tableau XXVIII), montre également une forte variabilité de la composition minérale entre paysans, en particulier pour le potassium avec un facteur variant de 1 à 2.4 pour Z2, 5.4 pour le magnésium et 8.5 pour le potassium (Z1). Les compositions moyennes des fumiers par zone sont très comparables. Le fumier moyen de la zone de Nioro semble plus riche en N, K et Mg, avec des teneurs moyennes de 1.09% N, 0.65% K et 0.56% Mg, alors que les fumiers de la zone de Bambey présentent des teneurs plus importantes en P et surtout en Ca (0.226% P et 1.024% Ca). Les fumiers « paysans » sont globalement moins riches que les fumiers et composts de la station de Bambey utilisés sur l'essai RMO en 1996 et 1997, notamment pour l'azote, le potassium et le calcium alors que les teneurs en carbone de tous ces fumiers (paysans et RMO) sont sensiblement identiques, ce qui conduit à des C/N compris entre 25 et 26 pour les fumiers « paysans » alors que celui des fumiers de la station est d'environ 14. Parmi ces fumiers « paysans », nous avons choisi les plus contrastés sur lesquels ont été déterminées les proportions des différentes fibres et les polyphénols (Tableau XXIX). La cellulose brute déterminée par la méthode de Weende varie entre 6.25 et 38.05 % alors que la cellulose par la méthode Van Soest est comprise entre 8.91 et 30.03 %. C'est le type le plus présent. Quant à la lignine et à l'hémicellulose, on les trouve en proportions pratiquement équivalentes pour un même échantillon mais elles varient de 4.21 à 14.22 % pour l'hémicellulose et de 4.88 à 17.95 % pour la lignine selon les échantillons. Les teneurs en

Tableau XXX : Moyennes des quantités d'éléments apportés à l'ha par provenance

	N kg ha ⁻¹	P kg ha ⁻¹	K kg ha ⁻¹	Ca kg ha ⁻¹	Mg kg ha ⁻¹	C t ha ⁻¹
Tous types d'apports						
Moyenne	354,7	57,2	219,4	280,6	180,9	8,8
Ecart-type	100,4	23,1	138,8	119,5	62,7	3,1
Minimum	126,0	6,6	23,7	57,7	40,0	1,4
Maximum	568,9	161,3	924,3	846,8	351,8	13,8
Fumiers Z1						
Moyenne	394,8	52,3	245,2	268,1	202,9	10,0
Ecart-type	71,1	8,7	151,3	71,6	50,1	2,1
Minimum	237,5	40,6	76,9	152,4	79,9	4,4
Maximum	568,9	85,6	924,3	452,6	351,8	13,8
Fumiers Z2						
Moyenne	290,0	76,8	167,8	335,1	144,0	7,7
Ecart-type	95,5	38,2	79,1	198,8	60,4	2,8
Minimum	170,0	37,3	61,8	180,5	78,0	4,0
Maximum	455,7	161,3	303,1	846,8	276,1	12,3
Fumiers station de Bambey (6tMS ha⁻¹)						
Moyenne	177,2	41,2	178,7	210,0	80,4	2,5
Ecart-type	9,6	1,4	16,1	12,7	0,2	0,0
Minimum	167,6	39,9	162,6	197,3	80,3	2,5
Maximum	186,8	42,6	194,8	222,7	80,6	2,5
Composts station de Bambey (6tMS ha⁻¹)						
Moyenne	216,3	69,2	151,8	355,9	127,0	2,3
Ecart-type	23,2	0,4	26,0	12,0	8,6	0,4
Minimum	193,0	68,8	125,8	343,9	118,4	1,9
Maximum	239,5	69,5	177,8	368,0	135,6	2,7
Feuilles de <i>Gliricidia sepium</i> (3tMS ha⁻¹)						
Moyenne	126,0	6,6	23,7	57,7	40,0	1,4

polyphénols sont faibles, ne dépassant pas 0.80%. Les ratios lignine+polyphénols totaux/N sont fréquemment supérieurs au seuil situé entre 8 et 10, défini par (Handayanto *et al.*, 1997) et (Mafongoya *et al.*, 1997), comme le domaine critique au-delà duquel la minéralisation du fumier et la fourniture d'azote sont fortement ralenties, ce qui rejoint d'ailleurs les valeurs de C/N>20.

Tableau XXIX : Composition (en % de la MS) en fibres et polyphénols de quelques fumiers paysans.

Zone	Parcelle	Bloc	Weende		Van Soest		Polyphénols		
			Cellulose	Hemicellulose	Cellulose	Lignine (L)	Solubles	Totaux (P)	(L + P) / N
	2		17.29	7.64	15.17	9.45	0.28	0.39	8.53
	3		9.25	4.82	10.03	4.88	0.28	0.35	7.24
	3		28.94	13.94	25.74	17.95	0.32	0.56	13.27
	13		35.46	11.17	27.42	17.07	0.37	0.59	13.43
	15		7.97	4.21	11.24	4.92	0.09	0.17	12.40
	16		38.05	14.22	30.03	19.45	0.27	0.50	16.71
	21		11.88	4.83	8.91	6.62	0.18	0.24	7.14
	24		6.25	4.25	11.17	4.85	0.06	0.12	9.19
	25		31.02	10.03	25.11	17.62	0.21	0.35	14.15
	25		35.12	11.36	25.98	18.53	0.27	0.39	11.90
	5		20.62	12.24	18.80	9.14	0.35	0.58	10.13
	20		9.90	5.70	10.23	6.37	0.23	0.42	11.13
	20		21.30	10.26	16.34	14.05	0.29	0.50	9.76
	24		22.47	14.20	20.42	13.12	0.49	0.80	12.53
RMO 1996 Fumier			21.09	6.93	15.26	17.33	0.21	0.42	8.96
RMO 1996 Compost			3.35	4.41	4.95	10.85	0.04	0.09	6.32
<i>Gliricidia sepium</i> (feuilles)			17.92	19.41	12.18	23.52	1.23	1.49	6.18

Gliricidia sepium, espèce arbustive cultivée en agroforesterie et testée dans cette zone (Ndiaye, 1997), est donnée ici à titre de comparaison du fumier avec une matière végétale fraîche. La composition des fumiers par champ (2 échantillons : 1 par placette) est relativement homogène dans l'ensemble (annexe 13) mis à part quelques champs (Z1-P3, P6, P7, P10, P15, P20, P21, P25 et Z2-P20).

En moyenne, ces épandages de fumier apportent, tous champs confondus par zone (Tableau XXX et annexe 14), 395 kg et 290 kg ha⁻¹ d'azote respectivement pour Z1 et Z2, 52 et 77 kg ha⁻¹ de phosphore (soit 119 et 176 kg ha⁻¹ de P₂O₅), 245 et 168 kg ha⁻¹ de potassium (soit 294 et 202 kg ha⁻¹ de K₂O), 268 et 335 g ha⁻¹ de calcium, 203 et 144 kg ha⁻¹ de magnésium. Ces apports sont donc considérables en regard des besoins des cultures et correspondent bien au rôle de « fumure localisée » que les paysans entendent leur faire jouer. Les apports de carbone sont eux de 10.0 et 7.7 t ha⁻¹ respectivement pour Z1 et Z2. On peut penser que de tels apports, notamment en azote, satisfont largement les besoins de la cultures, mais ces éléments ne sont pas immédiatement disponibles et il apparaît que la cinétique de minéralisation de ces fumiers est lente si l'on considère leur ratio (lignine+polyphénols

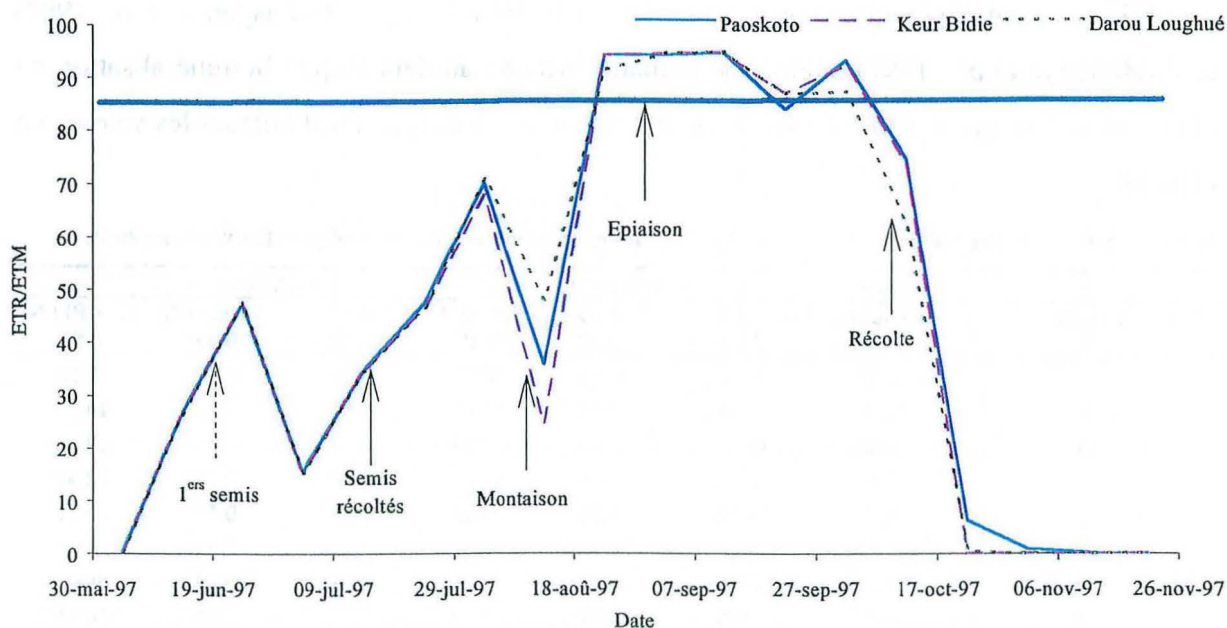


Figure 27 : Bilan hydrique simulé de la culture de mil Souna III pour les trois villages de la campagne 1997, zone de Nioro (Z1).

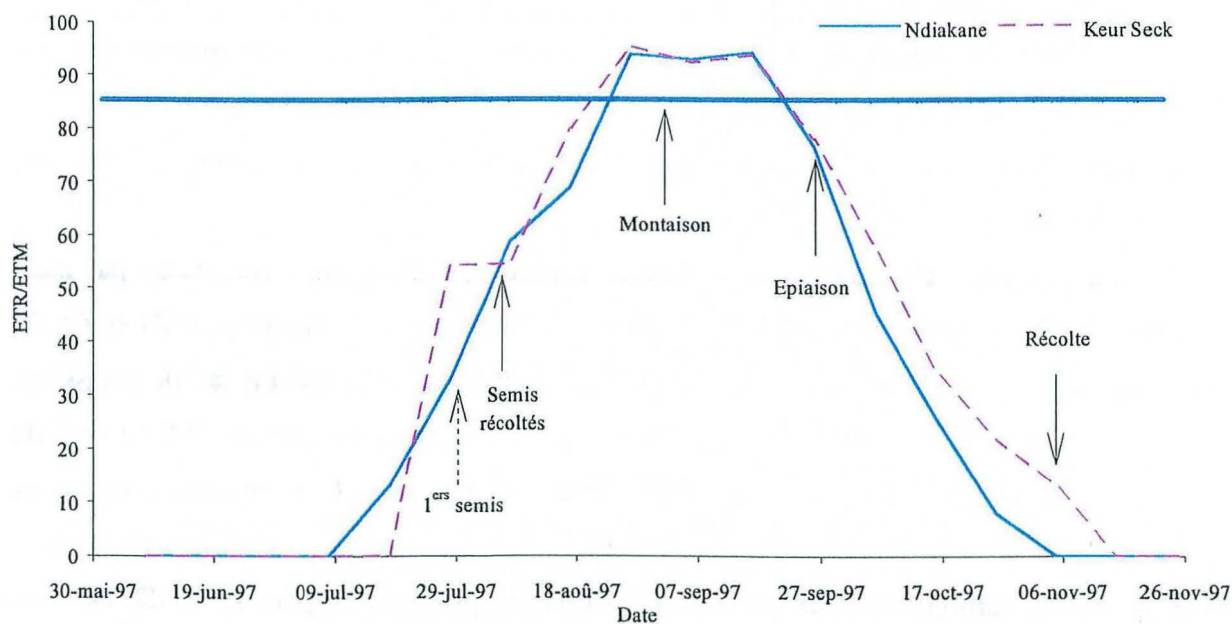


Figure 28 : Bilan hydrique simulé de la culture de mil Souna III pour les deux villages de la campagne 1997, zone de Bamby (Z2).

totaux)/N, ce qui pose la question du synchronisme offre \Leftrightarrow demande pour juger l'efficacité de ces apports.

5.3.3 Déroutement de la campagne

Cette campagne a été marquée par des attaques de sauteriaux (*Oedaleus senegalensis*) et des poches de sécheresse dans les deux zones.

L'hivernage a été précoce dans la zone de Nioro avec un premier semis possible entre le 6 et le 20 juin 1997. Cette phase humide a été suivie d'une poche de sécheresse associée à la destruction des semis par les sauteriaux. C'est mi-juillet que les ressemis ont été réalisés. Pendant le mois qui a suivi, les pluies ont été espacées et peu abondantes, période qui a coïncidé avec les phases de levée, tallage et début montaison. Comme le montre la figure 27, c'est le village de Keur Bidie qui a été le plus affecté, suivi de près par Paoskoto, le stress hydrique étant moins accentué à Darou Loughué. La situation est par la suite devenue favorable à la végétation pendant la période du 13 août au 30 septembre 1997, l'abondance des pluies (de 342 mm à Darou Loughué à 473 mm à Paoskoto) étant accompagnée de la disparition des sauteriaux. Seule la pression des passereaux granivores (*Quelea quelea*) en fin de culture a quelque peu hâté la récolte des chandelles. Au final, on remarque qu'il existe, malgré la faible distance entre les villages, un gradient pluviométrique est-ouest puisque l'on relève sur l'ensemble de la campagne :

- 586 mm à Paoskoto,
- 561 mm à Keur Bidie,
- 458 mm à Darou Loughué.

Toutefois, malgré l'apparent désavantage de Darou Loughué, la répartition des pluies a été meilleure sur ce village pendant la période allant du ressemis à la montaison. Par ailleurs, le Souna III est adapté à une pluviométrie moyenne de 400 à 500 mm si elle est convenablement répartie.

A Bambey, les premières pluies ont été précoces (mi-juin) mais très faibles (quelques mm) et très localisées. Les semis des essais étant synchrones pour une zone donnée, ceux-ci ont été réalisés en humide du 29 au 31 juillet 1997 à Ndiakane et Keur Seck. Les sauteriaux sévissant également dans cette zone, des ressemis ont été nécessaires. Les pluies se sont

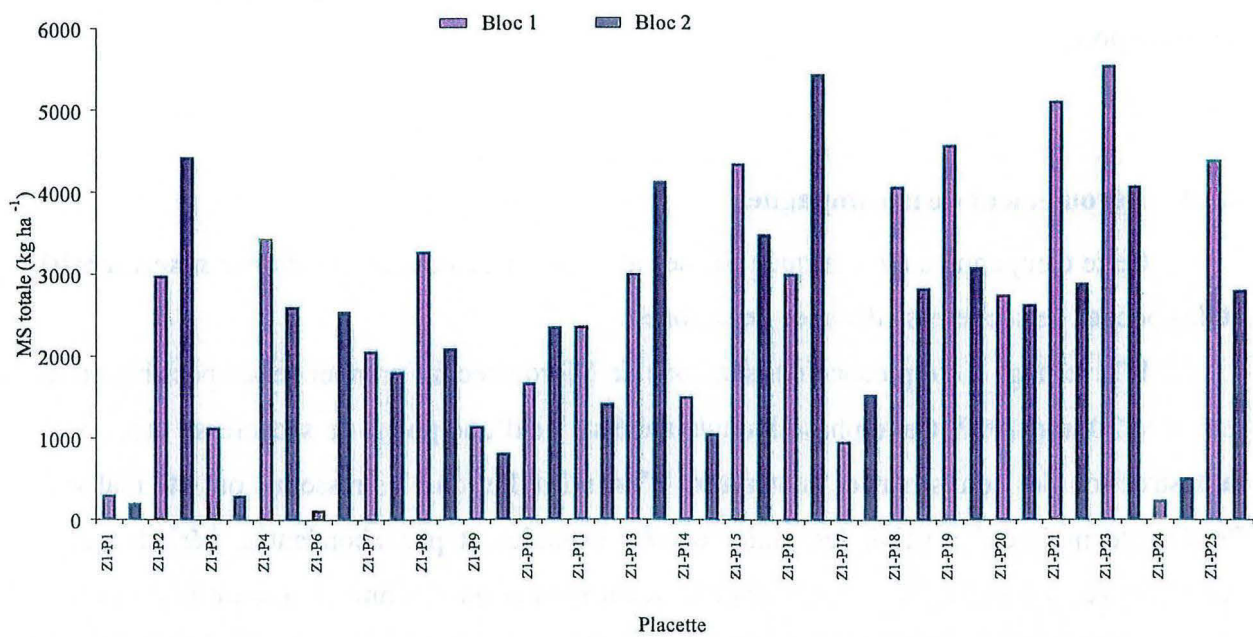


Figure 29 : Production de matière sèche totale (kg ha⁻¹) sur les placettes témoins des essais en milieu paysan, zone de Nirop.

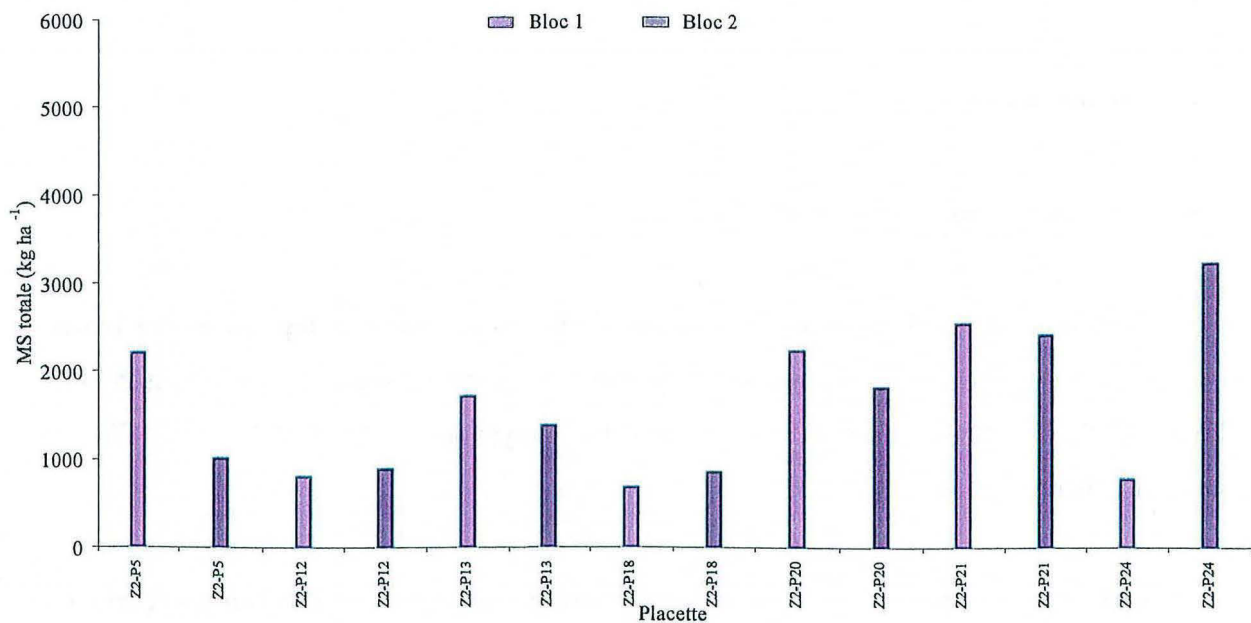


Figure 30 : Production de matière sèche totale (kg ha⁻¹) sur les placettes témoins des essais en milieu paysan, zone de Bambeby.

concentrées entre le 11 août et le 12 septembre 1997, cette période représentant respectivement 87 et 83 % du cumul total de la campagne pour Ndiakane et Keur Seck, et correspondant aux stades tallage et montaison du mil. Au moment de l'épiaison, la culture était en stress hydrique (voir Figure 28), contrairement à ce qui s'est produit à Nioro. Pour cette zone, les cumuls de pluie sont très faibles :

- 212 mm pour Ndiakane,
- 276 mm pour Keur Seck.

Pour certaines parties du village de Ndiakane, la pluviosité est encore plus erratique avec un total 142 mm à Ndiakane, (J. Martin, communication personnelle). Cette région a donc connu une campagne déficitaire pour l'ensemble des cultures, contraignant même de nombreux paysans à les abandonner, c'est ainsi que 16 parcelles ont été écartées de notre étude dans cette zone.

5.3.4 La production végétale

La production végétale quantifiée sur les placettes témoin (« S » ou « Sol sans fumure organique ») peut être considérée comme un indicateur du niveau de fertilité de la parcelle étudiée alors que celle mesurée sur les placettes avec fumier (« F » ou « Fumier ») permet, par différence avec le témoin adjacent, d'apprécier la réponse du système sol-plante à l'apport de fumier dans les conditions agro-climatiques de l'année d'étude. Dans l'optique d'évaluation de la variabilité initiale du milieu, cette partie sera donc uniquement consacrée aux rendements des placettes témoins, ceux des placettes avec fumier figurant dans le sous-chapitre évaluant l'impact de l'apport de fumier.

Pour la zone de Nioro (annexe 15), la MS totale est extrêmement variable, allant de 108 à 5536 kg ha⁻¹ (Figure 29). De même, les rendements en grains sont compris entre 0 et 1472 kgMS ha⁻¹ en recouvrant tous les niveaux intermédiaires ce qui, dans le meilleur des cas (Z1-P23-B1 S), ne représente que la moitié du potentiel de production de cette variété de mil mais est très supérieur à la moyenne nationale interannuelle de 550 kg ha⁻¹. Sur les 44 placettes témoins, dont la moyenne des rendements grains se situe à 621 kg ha⁻¹, on compte :

- 18 placettes pour lesquelles le rendement grains est inférieur à 550 kg ha⁻¹ dont 9 produisant moins de 100 kg ha⁻¹ et que l'on peut qualifier de sinistrées,
- 14 placettes dont le rendement est compris entre 550 et 1000 kg ha⁻¹ ce qui correspond à un résultat correct pour la région,

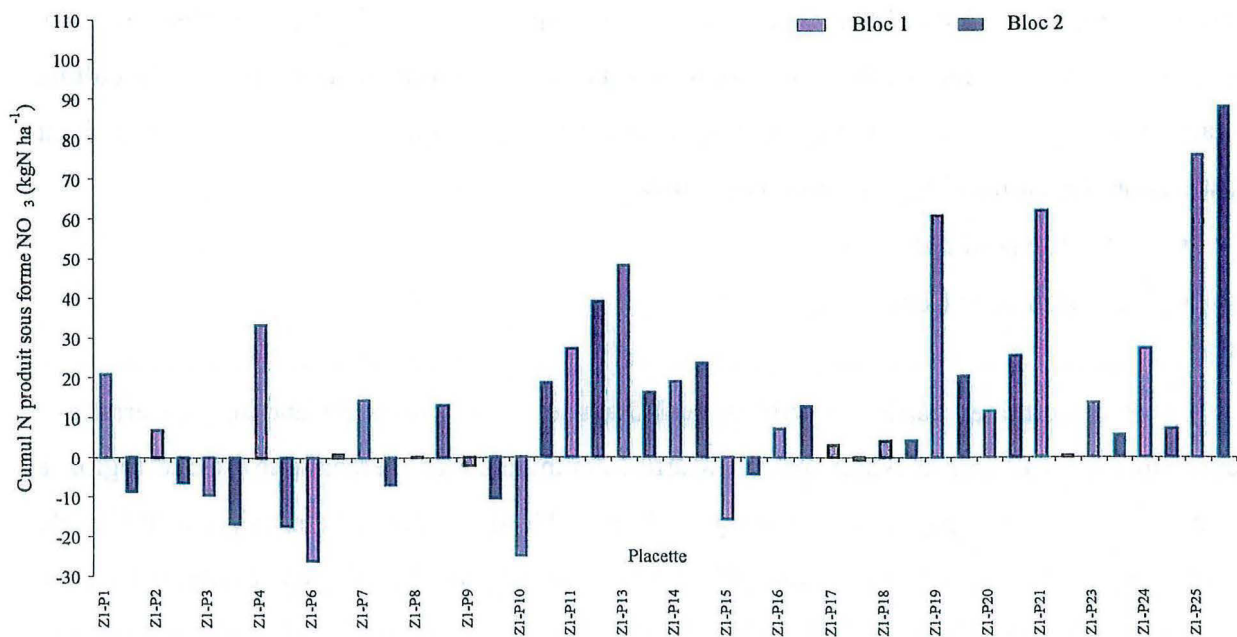


Figure 31 : Estimation de la fourniture du sol en azote sous forme nitrique pendant toute la campagne, basée sur la capacité nitrifiante mesurée *in situ*, dans l'horizon 0-10 cm ; témoin des essais en milieu paysan de la zone de Nioro.

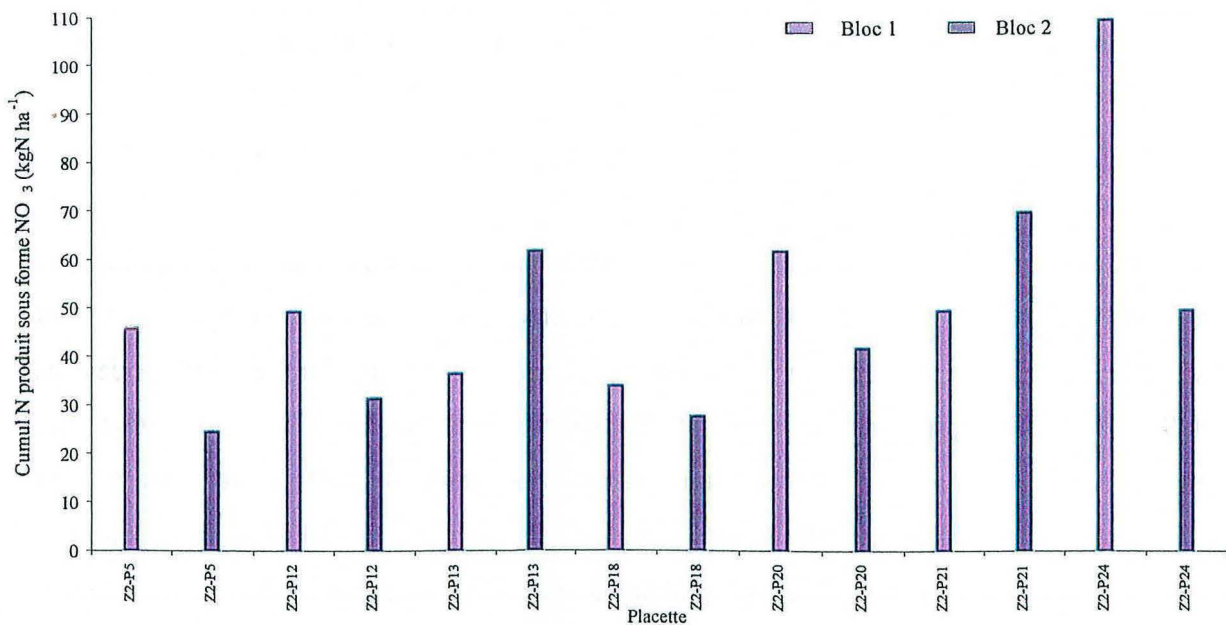


Figure 32 : Estimation de la fourniture du sol en azote sous forme nitrique pendant toute la campagne, basée sur la capacité nitrifiante mesurée *in situ*, dans l'horizon 0-10 cm ; témoins des essais en milieu paysan de la zone de Bambeby.

- 12 placettes dont le rendement est compris entre 1000 et 1500 kg ha⁻¹, ce qui constitue un bon résultat pour le paysan.

On retrouve des placettes appartenant à ces trois grandes classes de rendements dans chacun des villages, et ce malgré le gradient pluviométrique précédemment évoqué.

Les exportations minérales de la matière sèche totale offrent elles aussi un large éventail allant de (moyenne ± écart type de la moyenne) :

- 1.5 à 73.3 kg ha⁻¹ d'azote (33.2 ± 14.25),
- 0.1 à 7.8 kg ha⁻¹ de phosphore (3.5 ± 1.90),
- 0.8 à 114.3 kg ha⁻¹ de potassium (33.4 ± 19.29),
- 0.4 à 10.2 kg ha⁻¹ de calcium (3.8 ± 1.75),
- 0.6 à 18.6 kg ha⁻¹ de magnésium (8.5 ± 4.05).

Ce constat n'a rien d'étonnant, les exportations minérales étant fortement liées à la production végétale.

Pour la zone de Bambey (annexe 16), la MS totale s'échelonne entre 678 et 3222 kg ha⁻¹ (Figure 30) et les rendements grains sont compris entre 39 et 303 kg ha⁻¹ (récoltés sur Z2-P24-B2 S) avec une moyenne à 120 kg ha⁻¹, ce qui est très faible mais expliqué par les conditions de déroulement de la campagne. Sur ces 14 placettes, 9 d'entre elles ont un rendement grains inférieur à 100 kg ha⁻¹, 3 ont un rendement compris entre 100 et 200 kg ha⁻¹ et enfin 2 dépassent les 200 kg ha⁻¹. Quant aux exportations, elles sont comprises entre :

- 10.9 et 59.0 kg ha⁻¹ d'azote (26.2 ± 12.95),
- 1.0 et 4.9 kg ha⁻¹ de phosphore (2.5 ± 0.29),
- 5.5 et 43.3 kg ha⁻¹ de potassium (17.0 ± 9.70),
- 1.8 et 10.6 kg ha⁻¹ de calcium (6.3 ± 2.93),
- 3.6 et 16.6 kg ha⁻¹ de magnésium (9.5 ± 3.94).

5.3.5 Les caractéristiques biologiques des sols

5.3.5.1 Nitrification nette in situ (Nit_{ni}) (Figures 31 et 32)

Dans les deux zones, on observe, comme dans les essais en station, une nitrification nette maximum en début de campagne, plus importante dans la zone de Nioro que dans la zone de Bambey, avec respectivement 0.84 et 0.46 mgN kg⁻¹ j⁻¹ au semis, pour finalement atteindre 0.16 et 0.01 mgN kg⁻¹ j⁻¹ au stade post-récolte (respectivement pour Z1 et Z2, pour

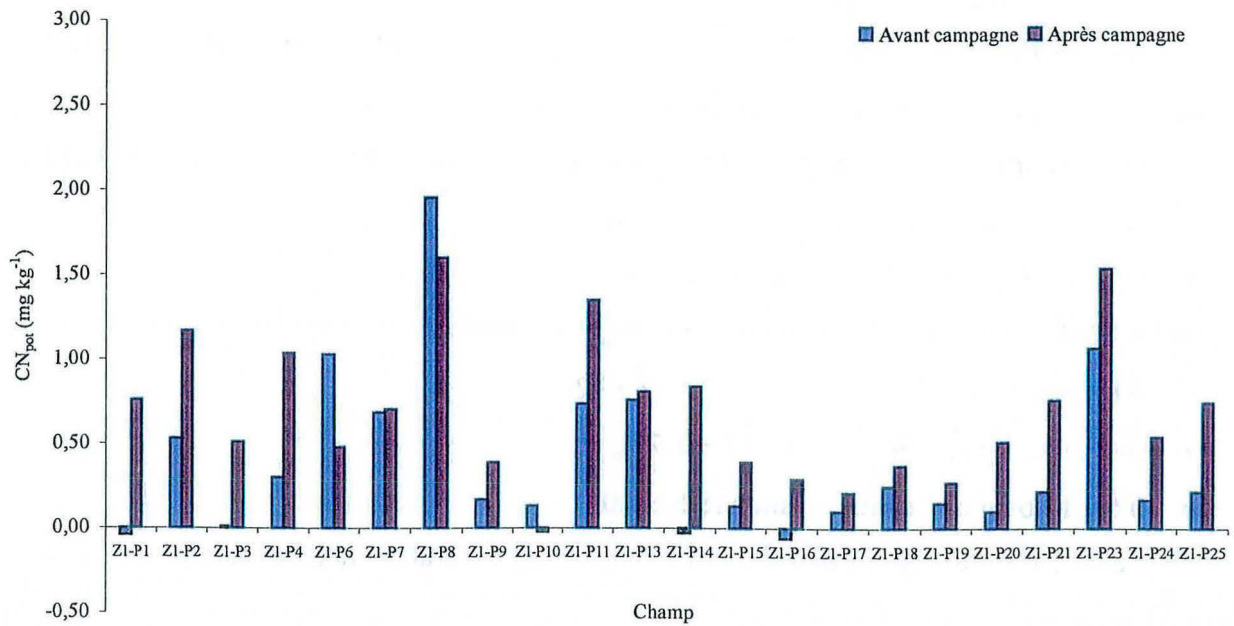


Figure 33 : Capacité nitrifiante potentielle (en mgN kg⁻¹ j⁻¹) mesurée avant et après campagne sur les témoins des essais en milieu paysan de la zone de Niroy.

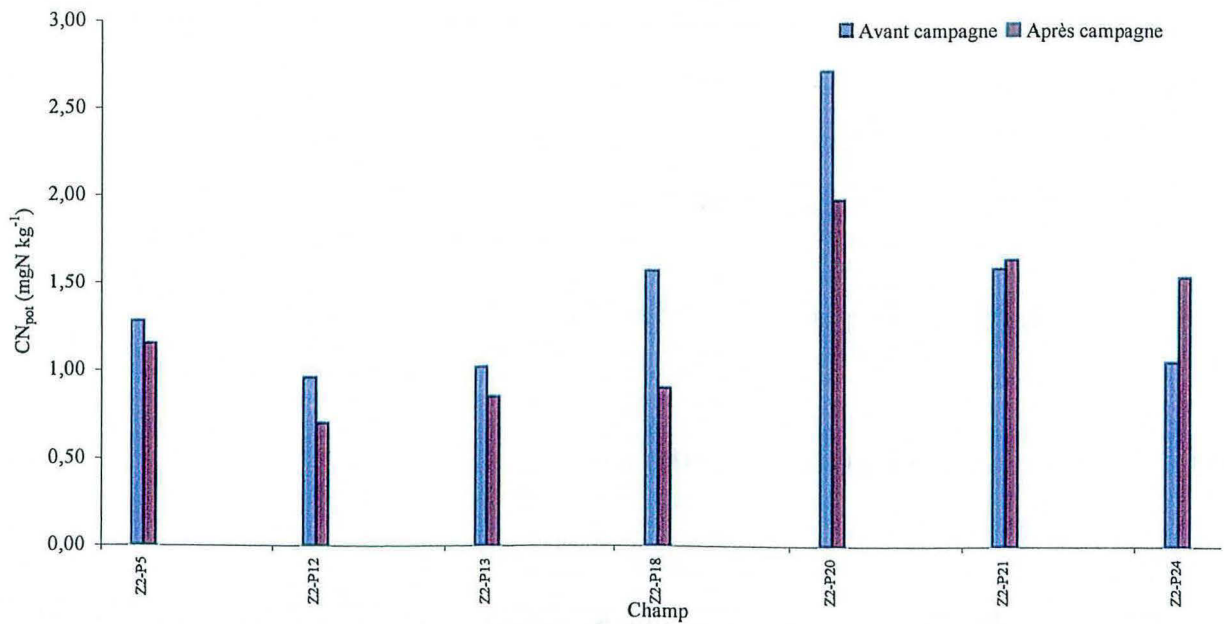


Figure 34 : Capacité nitrifiante potentielle (en mgN kg⁻¹ j⁻¹) mesurée avant et après campagne sur les témoins des essais en milieu paysan de la zone de Bambey.

retrouver ces valeurs ponctuelles et individuelles se reporter aux annexes 19 et 20). Dans la zone de Bambey, des prélèvements plus tardifs, par rapport aux premières traces de pluies (insuffisantes pour justifier un semis), qu'à Nioro et sur des sols plus secs au moment des prélèvements, pourraient expliquer cette différence.

Par ailleurs, au stade fin montaison-début épiaison, la nitrification nette telle que nous l'avons quantifiée (voir § 3.2.2.2) est négative à Nioro (en moyenne $-0.54 \text{ mgN kg}^{-1} \text{ j}^{-1}$) sur un grand nombre de placettes suggérant une forte immobilisation microbienne et/ou des pertes par diffusion de N-NO_3 hors du cylindre d'incubation (au niveau de la toile à blutter), phénomène qui n'a pas été observé sur les essais RMO de Bambey et « Travail du sol*compost » de Thyssé-Kaymor (où la nitrification, nette comme brute, est toujours positive ou nulle) et qui n'a pas pu être vérifié dans la zone de Bambey, les prélèvements n'ayant pu être effectués.

A l'échelle de la saison culturale, les quantités d'azote nitrique produit sont très variables (Figures 31 et 32), même à l'échelle du champ si l'on compare les deux blocs, notamment pour la zone de Nioro. Ces quantités varient, pour la zone de Nioro, entre -26 à $+88 \text{ kg ha}^{-1}$, alors qu'elles sont toujours positives et comprises entre 24 et 109 kg ha^{-1} pour la zone de Bambey avec une majorité d'individus compris entre 30 et 60 kg ha^{-1} . Si l'on compare cette fourniture en azote facilement assimilable aux exportations en azote de la culture, on constate qu'à Nioro rares sont les parcelles couvrant les besoins de la culture, contrairement à Bambey où la fourniture en azote est en rapport avec les besoins de la culture. Mais il convient de nuancer ce constat en rappelant que les conditions hydriques et sanitaires de la zone de Bambey n'ont pas été favorables au développement de la culture.

5.3.5.2 Nitrification nette potentielle (Figures 33 et 34)

La nitrification nette potentielle (Nit_{pot} , voir § 3.2.2.3) a ici été déterminée sur les sols prélevés secs avant et après campagne et testés dans des conditions supposées optimales de température et d'humidité pour tous les échantillons (30°C , pF 1.8), ce qui rend les résultats comparables. Avant campagne, nous disposons d'un échantillon composite par champ (mélange à quantités égales des quatre placettes). Après campagne, deux échantillons composites ont été constitués, l'un pour les placettes témoin, l'autre pour les placettes avec fumier. On rappelle qu'avant détermination de la nitrification nette, les échantillons de sols, prélevés en saison sèche, ont été pré-incubés pendant 14 j afin de s'affranchir de « l'effet Birch » (1952) qui consiste en un flush de minéralisation en tout début de campagne (durée

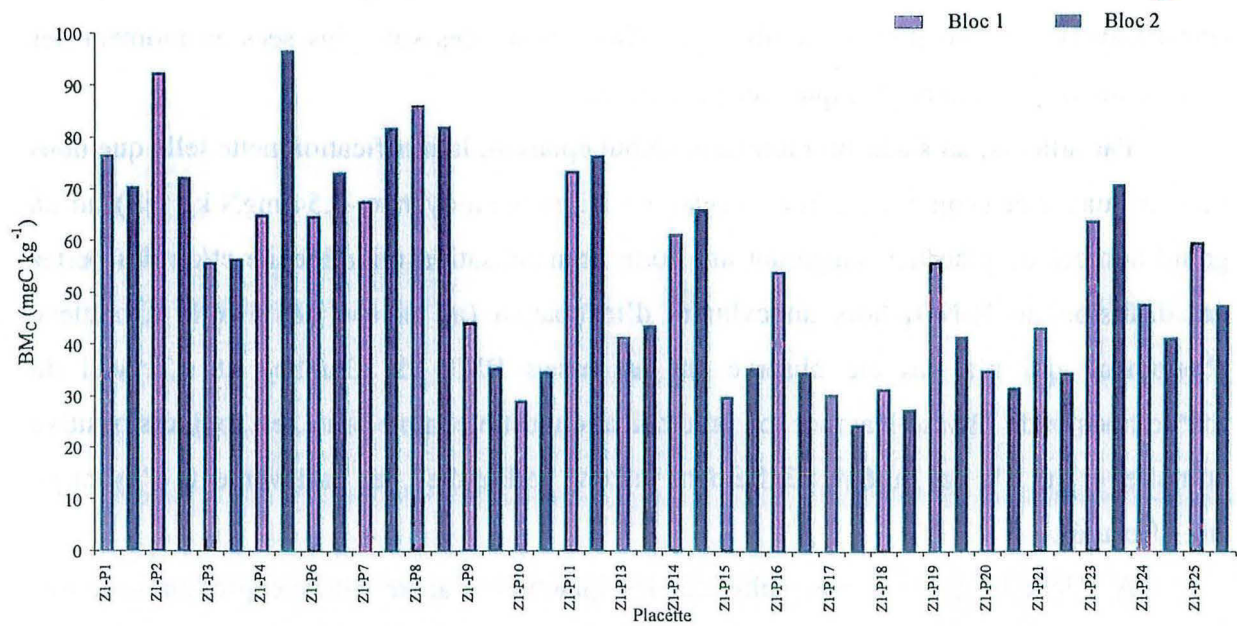


Figure 35 : Biomasse microbienne (BM_C en $mgC\ kg^{-1}$) mesurée en fin de cycle sur les témoins des essais en milieu paysan de la zone de Nirop.

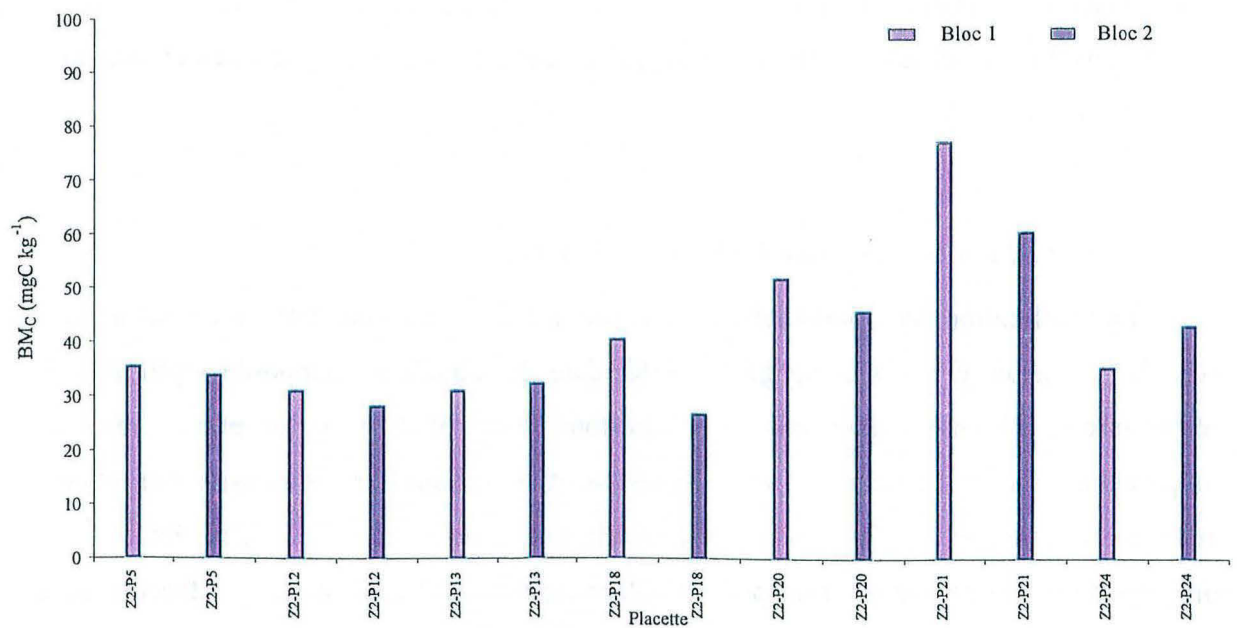


Figure 36 : Biomasse microbienne (BM_C en $mgC\ kg^{-1}$) mesurée en fin de cycle sur les témoins des essais en milieu paysan de la zone de Bambeby.

estimée à 7 j environ), provoqué, dès les premières pluies, par la minéralisation des corps microbiens morts au cours de la saison sèche.

Avant campagne la nitrification nette potentielle moyenne des placettes témoin est bien plus élevée dans la zone de Bambey qu'à Nioro puisque l'on mesure, respectivement pour Z2 et Z1, 1.46 et 0.39 mgN kg⁻¹ j⁻¹ avec des individus compris entre 0.96 et 2.72 mgN kg⁻¹ j⁻¹ à Bambey et entre -0.06 et 1.96 mgN kg⁻¹ j⁻¹ à Nioro. De plus, Nit_{pot} est nettement supérieure à Nit_{nt} dans la zone de Bambey, ce qui n'est pas le cas dans la zone de Nioro, à l'exception de Z1-P6, P8 et P23. Après campagne, Nit_{pot} diminue en moyenne de 14.4% à Bambey alors qu'elle marque un net accroissement de 77% à Nioro mais reste, malgré cette augmentation, très inférieure à la nitrification nette de Bambey.

5.3.5.3 Biomasse microbienne (Figures 35 et 36)

Les biomasses microbiennes (BM_C) présentent des évolutions similaires dans les deux zones mais avec des amplitudes différentes. En effet, la BM_C moyenne au stade semis est quasiment identique pour les deux zones (respectivement 27 et 31 mg C kg⁻¹ pour Z1 et Z2), avec des individus compris entre 7 et 56 mgC kg⁻¹ pour Z1 et entre 17 et 54 mgC kg⁻¹, ce qui rejoint par ailleurs les résultats obtenus sur les essais en station. Au cours de l'hivernage, cette biomasse microbienne s'accroît dans les deux zones, de 100% en moyenne à Nioro (54 mgC kg⁻¹) et de 32% en moyenne à Bambey avec des individus comprenant de 24 à 97 mgC kg⁻¹ pour Z1 et de 27 à 77 mgC kg⁻¹ pour Z2 après la récolte. Les quotients microbiens calculés en utilisant la BM_C mesurée en fin de cycle et la teneur en carbone total du sol (voir aussi § 4.3.2) déterminée sur les sols de départ donnent un petit avantage à la zone de Bambey avec un q_{BM} moyen de 1.73, celui de la zone de Nioro étant de 1.52, certains individus pouvant atteindre 2.66 à Bambey et 2.49 à Nioro (on rappelle que les biomasses mesurées sous-estiment les biomasses microbiennes réelles, le quotient microbien présenté est également une sous-estimation du quotient microbien réel et ne saurait être comparé en l'état à des mesures effectuées sur sols frais). Le rapport entre l'accroissement net de BM_C pendant l'hivernage et le carbone total du sol en début de campagne est de 1.13 pour Nioro et 1.07 pour Bambey, laissant supposer que les conditions de Nioro sont légèrement plus favorables au développement de la biomasse microbienne que celle de Bambey.

5.3.6 Liaisons entre toutes les variables étudiées

On peut s'interroger sur l'existence de relations entre les différentes variables étudiées et plus particulièrement celles impliquant les composantes biologiques mesurées. Pour ce faire, une matrice des corrélations a été calculée pour l'ensemble des placettes témoins de chaque zone (voir annexes 17 et 18). Si les relations significatives sont nombreuses (certaines variables étant dépendantes), elles ne sont pas forcément puissantes. Toutefois, il est possible d'en dégager un certain nombre et de les schématiser. Pour Z1 (Nioro), les composantes de l'azote minéralisable *in situ* (NH_4 , NO_3 ou nitrification nette *in situ* et N minéral dans son ensemble) ne présentent pas de liaisons avec les autres groupes de variables (sol, plante), à l'exception du bilan de la teneur en N-NH_4 du sol au stade semis qui est négativement liée à la teneur en argiles+limons fins (0-20 μm) avec un R^2 de 0.485. A l'inverse, la nitrification nette potentielle, réalisée en conditions contrôlées et la biomasse microbienne sont à la fois liées entre elles et corrélées avec bon nombre de caractéristiques physico-chimiques du sol telles la matière organique (Ct et Nt), les pH (KCl et eau), la CEC et plusieurs de ses éléments à savoir le calcium, le potassium et le manganèse (corrélation négative dans ce cas) échangeables. Les liaisons avec les données plante sont significatives mais de faible poids.

Dans le cas de Z2 (Bambey), on note, contrairement à ce que nous observons à Nioro, l'existence de quelques liaisons entre la nitrification nette *in situ* d'une part et d'autres variables telles le poids de grains par épis (si Nit_{nt} est mesurée au stade semis, $R^2 = 0.644$) ou la BM_C déterminée au semis (quand Nit_{nt} est mesurée au stade semis, $R^2 = 0.307$). Il existe également des relations significatives avec certaines caractéristiques physico-chimiques des sols, notamment la matière organique et la CEC, mais elles n'expliquent qu'une faible part de la variabilité. La biomasse microbienne et la nitrification nette potentielle sont, comme à Nioro, liées à la matière organique du sol, aux pH et au K échangeable. Par contre l'influence du calcium et du manganèse échangeables n'apparaît plus. Cependant, on note une plus grande importance du phosphore assimilable et des variables plante, notamment le nombre total d'épis et la matière sèche totale.

Les variables explicatives des composantes biologiques du sol (nitrification nette potentielle et biomasse microbienne) communes aux deux zones sont donc la matière organique du sol, le pH et le K échangeable.

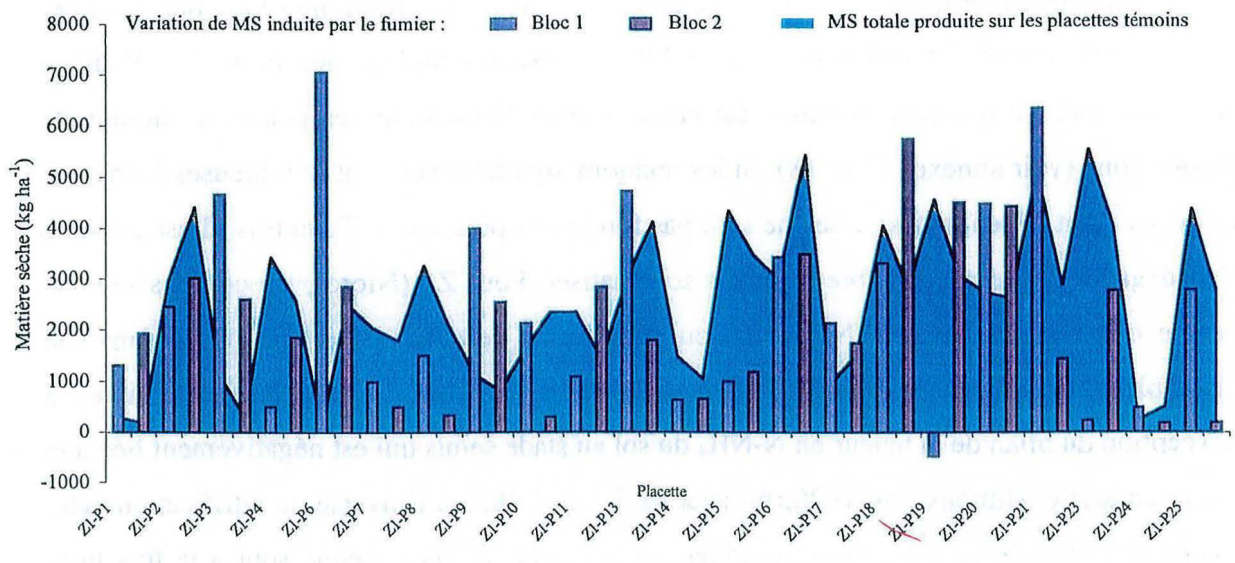


Figure 37 : Variation de la MS totale (kg ha⁻¹) induite par l'apport de fumier (en toile de fond la MS totale des placettes témoins), zone de Nioro.

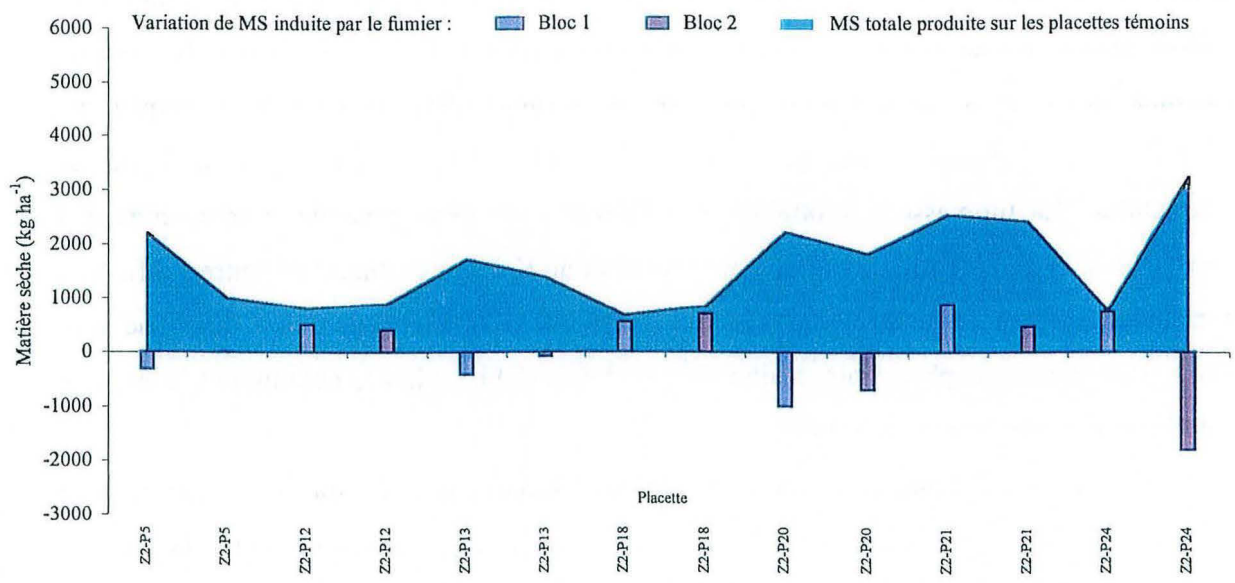


Figure 38 : Variation de la MS totale (kg ha⁻¹) induite par l'apport de fumier (en toile de fond la MS totale des placettes témoins), zone de Bambeby.

5.4 EFFET DE L'APPORT DE FUMIER

5.4.1 Les caractéristiques physico-chimiques des sols

Globalement, l'apport de fumier se traduit par une augmentation de la matière organique du sol, du phosphore assimilable et des divers pH mesurés (Tableau XXVI). Pour la zone de Nioro, l'accroissement moyen par rapport aux témoins est de 14.3% pour Ct, 12.9% pour Nt, 11.2% pour Pass, 13.7% pour la CEC et enfin 0.38 et 0.27 unités respectivement pour les pH_{KCl} et pH_{eau} . Pour la zone de Bambey, ces accroissements moyens sont de 18.2% pour Ct, 16.1% pour Nt, 52.4% pour le Pass et de +0.16 et 0.14 unités respectivement pour pH_{KCl} et pH_{eau} . Ces moyennes masquent des réponses très variables. En effet, si l'on suit l'évolution de la matière organique du sol, qui a été mesurée avant et après essai sur chaque placette, on constate que l'apport de fumier se traduit, dans presque tous les cas, par une évolution favorable des teneurs en Ct et Nt entre le début et la fin de la campagne. Les variations des teneurs en carbone et azote total des placettes ayant reçu du fumier sont comprises entre -21 et + 81% à Nioro (-16 à +68% pour l'azote total) et entre -17 et +100% à Bambey (-14 à +78% pour l'azote total). Les diminutions apparentes des teneurs sont peu fréquentes (10 cas pour Ct et 8 pour Nt toutes zones confondues) et, la plupart du temps, de faible amplitude.

L'effet du fumier sur les caractéristiques physico-chimiques des sols est donc très variable, ce qui n'a rien de surprenant puisqu'il résulte de l'interaction entre la qualité du fumier épandu et de l'état des sols recevant cet apport, facteurs qui, comme nous l'avons vu, présentent eux-mêmes une grande variabilité individuelle.

5.4.2 La production végétale

L'impact du fumier se traduit, en moyenne, par un doublement des rendements grains, de la matière sèche totale et des exportations dans la zone de Nioro (Figure 37 et annexe 19). En effet, si le rendement grains le plus élevé sur une placette témoin était de 1472 kg MS ha⁻¹, on atteint ici 2609 kgMS ha⁻¹, soit 87% du potentiel de rendement de la variété, et la moyenne passe de 621 à 1257 kgMS ha⁻¹. La MS totale dépasse 11tMS ha⁻¹, la moyenne se situant à 4825 kgMS ha⁻¹ soit 1.9 fois celle obtenue sur les placettes témoins. Les exportations suivent la même règle. Seules font exception les exportations en P et en K qui sont respectivement 2.4 et 2.5 fois plus élevées que sur les placettes témoins. Ici aussi cette moyenne cache une grande variabilité avec un rendement grains compris entre - 0.37 (cas de 3 blocs) et 21 fois le

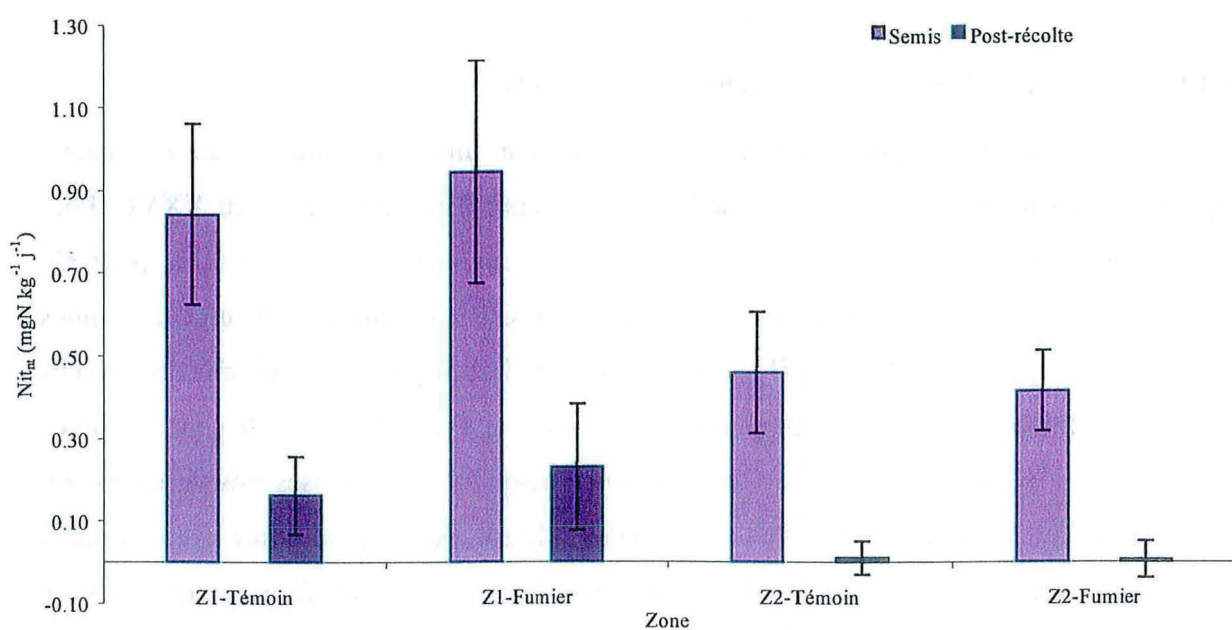


Figure 39 : Capacité nitrifiante *in situ* moyenne (en mgN kg⁻¹ j⁻¹) par zone et par traitement (avec écarts des moyennes).

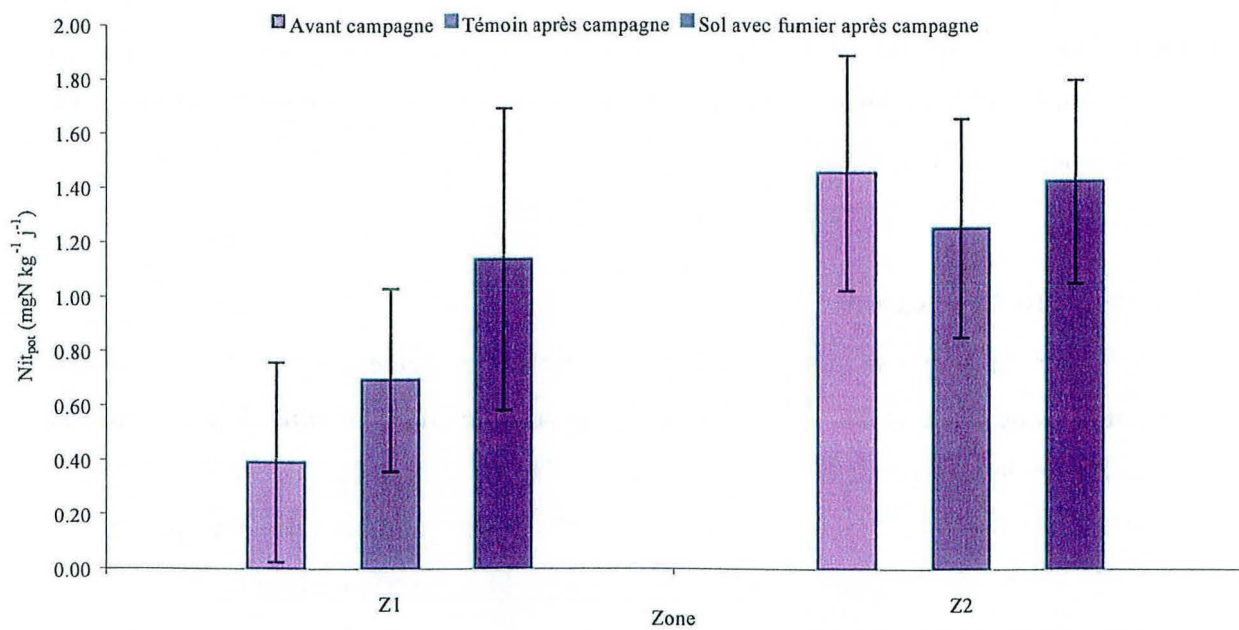


Figure 40 : Capacité nitrifiante potentielle moyenne (en mgN kg⁻¹ j⁻¹) par zone et par traitement (avec écarts des moyennes).

rendement grains du témoin adjacent. Le fumier permet donc d'assurer un rendement, si ce n'est satisfaisant, du moins nettement plus élevé que sur un sol sans apport.

Pour la zone de Bambey (Figure 38 et annexe 20), l'impact de l'apport du fumier est nettement moins marqué, les conditions pluviométriques étant drastiques l'année de l'essai. Si le rendement grains des parcelles avec fumier est, en moyenne, 1.4 fois supérieur à celui des placettes témoins avec 173 kgMS ha⁻¹, il ne dépasse pas, dans le meilleur des cas, 498 kgMS ha⁻¹ et le gain de rendement dû au fumier varie de -68 à +308% du témoin adjacent. Pour la matière sèche totale, les résultats sont encore moins contrastés. En effet, les moyennes des deux traitements sont identiques (1607 et 1608 kgMS ha⁻¹ respectivement pour le témoin et le sol avec fumier). Cependant, les variations par rapport aux témoins adjacents sont comprises entre -56 et +96%. Toutefois, la production est plus stable avec fumier, et toujours supérieure à la tonne, contrairement aux témoins pour lesquels 5 individus sur 14 se situent sous cette limite. A l'image de la MS totale, les exportations ne sont guère influencées par l'apport de fumier, à l'exception du potassium pour lequel on note une augmentation de 23.5% des exportations moyennes.

5.4.3 Les caractéristiques biologiques des sols

5.4.3.1 Nitrification nette *in situ* (Figure 39)

Dans la zone de Bambey (Z2), on n'observe pas d'impact notable du fumier sur la nitrification nette *in situ* qui reste toujours plus faible qu'à Nioro (Z1) où l'effet du fumier est par contre positif, mais bien plus limité que sur les variables précédemment étudiées. En effet, à Nioro, l'apport de fumier n'induit qu'un accroissement moyen de 12% par rapport aux témoins au stade semis, 35% au stade fin montaison et 44% après la récolte. Cela permet toutefois de tripler la fourniture estimée d'azote sous forme nitrique qui peut alors atteindre 200 kg ha⁻¹ (cas de Z1-P25-B2F où la nitrification est toujours positive, même au stade fin montaison).

5.4.3.2 Nitrification nette potentielle (Figure 40)

L'effet du fumier est très marqué à Nioro où la nitrification nette mesurée en fin d'essai est en moyenne 1.65 fois supérieure à celle des témoins. Par rapport à Nit_{pot} initiale, Nit_{pot} finale représente une augmentation de 192% alors que cette augmentation n'est « que »

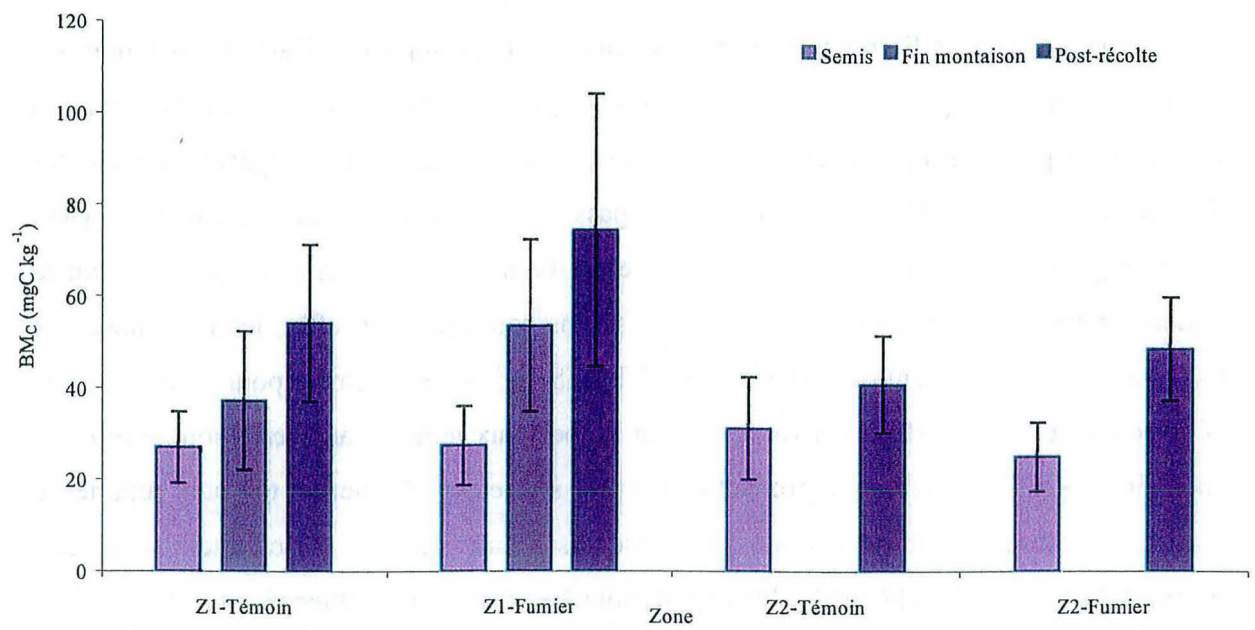


Figure 41 : Biomasses microbiennes moyennes (BM_C en mgC kg⁻¹) par zone et par traitement (avec écarts des moyennes).

de 77% pour les témoins. Au-delà de la moyenne, cet impact positif du fumier est aussi visible individuellement, tant si l'on regarde l'évolution entre le début et la fin de l'essai, que si l'on compare avec les témoins, à l'exception des champs Z1-P15 et Z1-P21 où Nit_{pot} est inférieure aux témoins en fin de campagne.

A Bambey on n'observe pas de semblable évolution. Tout au plus l'effet du fumier se traduit par un maintien de la Nit_{pot} moyenne pour laquelle nous avons noté une diminution de 14% entre le début et la fin de l'essai sur les témoins. Cependant, ces moyennes masquent des évolutions contraires selon les champs (voir annexe 20).

5.4.3.3 Biomasse microbienne (Figure 41)

L'impact positif du fumier sur la biomasse microbienne est très net quelle que soit la zone considérée. En effet, la BM_C mesurée à Nioro est, en moyenne, 1.37 fois plus élevée sur les placettes avec fumier ce qui se traduit également par un quotient microbien (q_{BM_C}) moyen de 1.78 au lieu de 1.13 sur les témoins et pouvant atteindre 4.39. Même si l'on observe les individus plutôt que les moyennes, ce constat reste valable. On retrouve le même phénomène, bien qu'atténué, dans la zone de Bambey où la BM_C moyenne des placettes avec fumier n'est plus que 1.17 fois supérieure à celle des placettes témoins. Le q_{BM_C} augmente également, passant de 1.07 à 1.48 montrant bien, dans les deux zones, que le fumier favorise la croissance de la population microbienne du sol. Cet accroissement de la BM_C suite à un apport de fumier a également été relevé par divers auteurs dans d'autres conditions agro-climatiques (Schnürer *et al.*, 1985 ; McGill *et al.*, 1986 ; Rasmussen *et al.*, 1989) , même si ces résultats ont été obtenus avec des apports d'engrais minéraux (Bolton *et al.*, 1985 ; Dick *et al.*, 1988).

En résumé, ces tests révèlent un très fort effet de la zone et un effet également marqué du fumier sur les paramètres sols, plantes et biologie des sols.

L'effet positif du fumier sur l'ensemble des variables étudiées a été vérifié sur la quasi totalité des parcelles suivies. La large gamme de variation des diverses données collectées et la difficulté à mettre en évidence des relations directes entre les variables deux à deux nous a incité à tenter de regrouper les diverses parcelles par type de « comportement » formant ainsi des groupes à l'intérieur desquels les relations entre les diverses variables pourront être plus facilement expliquées.

5.5 CONSTITUTION DE GROUPES ET TYPOLOGIE DES DIVERS COMPORTEMENTS BIOLOGIQUES DES SOLS

Nous disposons de quatre ensembles de variables : les données de production végétale, les données relatives aux apports de fumier, les caractéristiques physico-chimiques des sols, ainsi qu'un certain nombre de caractéristiques biologiques des sols. On constitue, par classification hiérarchique ascendante (CHA) portant sur les variables biologiques et l'effet du fumier (différences de niveaux avec et sans apport) sur ces variables, des groupes d'individus aux comportements homogènes. Les déterminants de ces groupes sont ensuite identifiés par une analyse factorielle discriminante (AFD) portant sur les variables ayant permis leur individualisation. Les autres types de variables (production végétale, sols, fumiers) subissent le même traitement avant de rechercher d'éventuels recoupements entre ces diverses catégories de variables permettant de définir des types englobant l'ensemble des paramètres mesurés.

Pour chaque champ, on ne considère pas la moyenne des deux blocs mais chacun d'entre eux comme autant d'individus. De plus, c'est la réponse au fumier (le Δ Fumier), en terme de différence avec le témoin adjacent, et non le résultat de la placette fumier en lui-même, qui est prise en compte pour la constitution des groupes. Ceux-ci sont donc caractérisés par la variabilité initiale du milieu issue des placettes témoins d'une part, et la réponse au fumier d'autre part. Par ailleurs, afin de travailler sur les mêmes données pour les deux zones, nous n'avons pas utilisé, pour Nioro, les résultats obtenus au stade fin montaison-début épiaison (BM_C 2, Nit_{nt} 2). L'analyse sera donc basée sur les observations effectuées aux dates 1 et 3 correspondant respectivement aux stades semis et post-récolte. Les résultats qui suivent présentent donc les mesures directes faites sur les témoins et leur Δ Fumier, valeurs qualifiées de « brutes » par opposition aux accroissements relatifs auquel il peut être fait allusion et qui sont, quant à eux, le rapport Δ Fumier/Témoin permettant de relativiser les Δ Fumier.

5.5.1 Groupes constitués à partir de la caractérisation biologique des parcelles

5.5.1.1 A Nioro

Pour la zone de Nioro, les 44 blocs se répartissent en trois groupes (Tableau XXXI). Le groupe 1, comprenant 17 blocs, est celui pour lequel l'état biologique des sols témoins est le plus faible, tant au niveau de la nitrification nette potentielle que de la biomasse microbienne. Le groupe 3 est celui pour lequel on observe le meilleur statut biologique des sols témoins (16 individus sur 44) avec la Nit_{pot} de fin de campagne la plus élevée, ainsi que la BM_C la plus importante, tant en début qu'en fin d'essai. Quant au groupe 2, qui compte 11 individus, il présente une position intermédiaire entre les groupes 1 et 3 et correspond à la nitrification nette *in situ* la plus élevée. On remarque qu'il n'existe aucun champ de type 1 dans le village de Paoskoto, essentiellement dominé par des sols du groupe 3.

Tableau XXXI : Groupes issus de l'analyse discriminante des variables biologiques de la zone de Nioro.

Groupe	Nombre de cas	Caractéristiques des témoins					Réponse au fumier			
		Nit_{pot} fin mgN kg ⁻¹ j ⁻¹	BM_C 1 mgC kg ⁻¹	BM_C 3 mgC kg ⁻¹	Nit_{nt} 1 mgN kg ⁻¹ j ⁻¹	Nit_{nt} 3 mgN kg ⁻¹ j ⁻¹	Nit_{pot} fin mgN kg ⁻¹ j ⁻¹	BM_C 3 mgC kg ⁻¹	Nit_{nt} 1 mgN kg ⁻¹ j ⁻¹	Nit_{nt} 3 mgN kg ⁻¹ j ⁻¹
1	17	0.37	24	40	0.86	0.09	0.20	8	0.04	0.04
2	11	0.65	22	48	1.00	0.23	0.70	23	-0.03	0.20
3	16	1.06	33	73	0.71	0.20	0.52	31	0.26	0.01

En termes de « capacité biologique », le classement des sols témoins peut donc être résumé de la manière suivante :

$$1 < 2 < 3$$

La réponse au fumier peut induire un classement différent selon que l'on considère les valeurs brutes ou les accroissements relatifs par rapport aux témoins. En effet, c'est pour le groupe 2 que la réponse est la plus forte en ce qui concerne la Nit_{pot} et la Nit_{nt} en fin de campagne, tant au niveau des valeurs brutes que des taux d'accroissement. Pour la Nit_{nt} au stade semis, l'accroissement le plus important est observé dans le groupe 3. Pour la BM_C , si, en valeurs brutes, la réponse du groupe 3 est plus importante que celle du groupe 2, on observe l'inverse pour les accroissements relatifs. Globalement, on peut proposer le classement suivant :

Réponse en valeurs brutes : $1 < 2 < 3$

Réponse en accroissements relatifs : $1 < 3 < 2$

5.5.1.2 A Bambey

Les 14 blocs disponibles se répartissent en deux groupes (Tableau XXXII). Le groupe 1 rassemble les placettes présentant le meilleur état biologique des placettes témoins, situées sur les sols « Dek-Dior » du village de Keur Seck (Z2-P20, 21 et 24). Le groupe 2 n'offre qu'une Nit_{nt} plus élevée en fin de campagne. Par contre c'est dans ce groupe que l'on observe la meilleure réponse à l'apport de fumier, à l'exception de Nit_{nt} au stade post-récolte.

Tableau XXXII : Groupes issus de l'analyse discriminante des variables biologiques de la zone de Bambey.

Groupe	Nombre de cas	Caractéristiques des témoins					Réponse au fumier			
		Nit_{pot} fin mgN kg ⁻¹ j ⁻¹	BM_C 1 mgC kg ⁻¹	BM_C 3 mgC kg ⁻¹	Nit_{nt} 1 mgN kg ⁻¹ j ⁻¹	Nit_{nt} 3 mgN kg ⁻¹ j ⁻¹	Nit_{pot} fin mgN kg ⁻¹ j ⁻¹	BM_C 3 mgC kg ⁻¹	Nit_{nt} 1 mgN kg ⁻¹ j ⁻¹	Nit_{nt} 3 mgN kg ⁻¹ j ⁻¹
1	5	1.59	44	52	0.65	0.00	0.07	5	-0.20	0.02
2	9	1.06	24	35	0.36	0.01	0.22	9	0.04	-0.02

Dans les deux zones, tout se passe comme s'il existait une potentialité biologique limite du sol, les placettes témoins les mieux dotées (en BM_C) n'étant pas forcément celles présentant la meilleure réponse. Toutefois, il semble que cette réponse soit également limitée lorsque ces parcelles sont trop « dégradées » (cas du groupe 1 par rapport au groupe 2 dans la zone de Nioro). On peut légitimement se demander si ces niveaux de réponses observés sont directement liés au niveau des fumiers c'est-à-dire à leur quantité et/ou leur qualité respectives ?

5.5.2 Groupes constitués à partir de la caractérisation des fumiers épandus

5.5.2.1 A Nioro

Une analyse discriminante sur les apports de fumier calculés à l'hectare conduit également à la constitution de trois groupes (Tableau XXXIII) rangés dans un ordre croissant d'apports en éléments fertilisants. Si l'on tente un recoupement entre ces groupes et la réponse des variables biologiques au fumier, on constate que seules 17 placettes (sur 44, soit 38.6%) se recourent c'est-à-dire présentent un niveau de réponse en rapport avec le niveau d'apport de fumier.

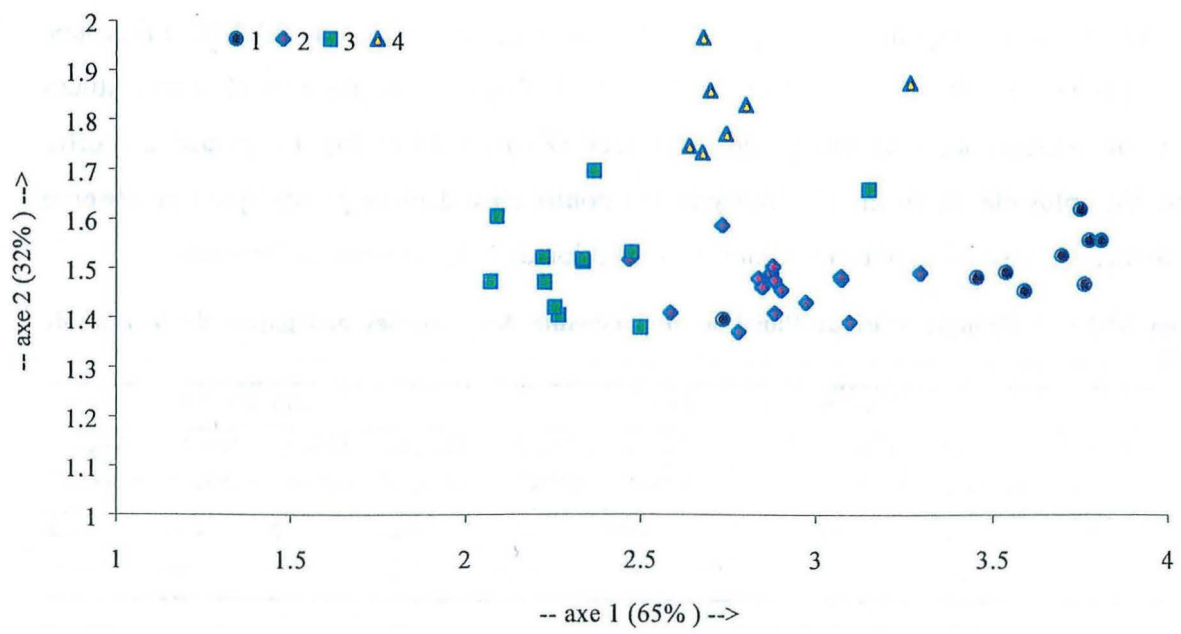


Figure 42 : Position des groupes de sols de la zone de Nioro sur le plan 1-2 (97% de la variabilité).

Tableau XXXIII : Groupes d'apports de fumier pour la zone de Nioro.

Groupe	Fréquence	N	P	K	Ca	Mg	C
		kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	t ha ⁻¹
1	12	324	45	174	219	173	8.6
2	22	392	52	208	246	195	10.6
3	10	485	61	412	376	256	10.2

5.5.2.2 A Bambey

Nous obtenons ici deux groupes de fumiers (Tableau XXXIV), le second offrant les plus grandes quantités d'éléments apportés. Dans cette zone, le recoupement entre groupes de fumiers et groupes de réponse des variables biologiques est bien meilleur que dans la zone de Nioro avec 10 placettes sur 14 (71.4%).

Tableau XXXIV : Groupes d'apports de fumier pour la zone de Bambey.

Groupe	Fréquence	N	P	K	Ca	Mg	C
		kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	t ha ⁻¹
1	9	235	61	133	250	108	6.1
2	5	390	106	230	489	210	10.4

5.5.3 Groupes constitués à partir de la caractérisation physico-chimique des sols

5.5.3.1 A Nioro

Une classification sur les sols de Nioro distingue quatre groupes de sols (Tableau XXXV) qui se positionnent selon deux axes (Figure 42) : l'état de fertilité des sols témoins d'une part et l'importance de la réponse au fumier d'autre part.

Tableau XXXV : Groupes de sols pour la zone de Nioro.

Etat des sols témoins													
Groupe	Fréquence	argile+ limon%	MOS (Ct en %, Nt en mg kg ⁻¹)				Complexe absorbant (cmol 100g ⁻¹)				Pass mgkg ⁻¹	pH _{KCl}	
			Ct déb	Nt déb	Ct fin	Nt fin	Ca	Mg	K	CEC			
1	8	12.5	0.32	260	0.30	252	0.59	0.31	0.04	1.19	7.85	4.47	
2	16	10.0	0.34	276	0.33	276	0.93	0.42	0.05	1.56	7.52	4.90	
3	5	12.3	0.41	338	0.42	343	1.72	0.67	0.13	2.64	6.80	5.70	
4	15	14.0	0.36	292	0.38	317	1.08	0.59	0.06	1.94	8.02	4.89	

Réponse au fumier											
Groupe	Fréquence	MOS (Ct en %, Nt en mg kg ⁻¹)				Complexe absorbant (cmol 100g ⁻¹)				Pass mgkg ⁻¹	pH _{KCl}
		Ct fin	Nt fin	Ca	Mg	K	CEC				
1	8	0.02	10	0.09	0.13	0.02	0.19	0.65	0.17		
2	16	0.08	66	0.25	0.35	0.04	0.62	2.39	0.74		
3	5	0.06	47	0.15	0.16	0.01	0.28	-0.97	0.23		
4	15	0.01	18	-0.09	-0.05	-0.01	-0.14	-0.06	0.15		

Les témoins du groupe 3 correspondent aux champs les plus riches (à l'exception du Pass). A l'inverse, le groupe 1 rassemble les sols les plus dégradés, les groupes 2 et 4 s'intercalant entre ces deux limites et semblent peu différents. Ils se distinguent en fait par leur niveau de réponse. En effet, c'est le groupe 2 qui présente la plus forte réponse au fumier, qu'il s'agisse des valeurs brutes ou des taux d'accroissements, alors que le groupe 4 ne répond pas positivement au fumier. On peut résumer cela de la manière suivante :

Etat des sols témoins (ou niveau de fertilité physico-chimique de la parcelle) :

$$1 < 2 < 4 < 3$$

Niveau de réponse au fumier : $4 < 1 < 3 < 2$

5.5.3.2 A Bambeby

Tableau XXXVI : Groupes de sols pour la zone de Bambeby.

Groupe	Fréquence	Etat des sols témoins						Réponse au fumier				
		Argile+limons %	MOS %		Complexe absorbant (cmol kg ⁻¹)		Pass mg kg ⁻¹	pH _{KCl}	MOS %	CEC cmol kg ⁻¹	Pass mg kg ⁻¹	pH _{KCl}
			Ct deb	Ct fin	K	CEC						
1	4	8.50	0.29	0.27	0.09	3.50	12.40	5.21	0.06	-0.13	6.50	0.02
2	5	7.28	0.19	0.17	0.06	2.48	7.70	5.17	0.04	0.16	6.22	0.32
3	5	8.06	0.24	0.24	0.09	3.06	8.98	5.58	0.01	-0.12	2.53	0.12

Les sols se répartissent en trois groupes (Tableau XXXVI). Le groupe 1, comprenant 4 individus, présente les caractéristiques physico-chimiques les plus élevées, suivi des groupes 3 puis 2. En termes de réponse au fumier, c'est dans le groupe 2 que l'on observe les plus fortes variations pour la CEC et le pH_{KCl}, alors que c'est dans le groupe 1 que l'augmentation brute du carbone total du sol et du phosphore assimilable est la plus marquée. Mais en valeur relative, cet accroissement est moindre par rapport à celui enregistré pour le groupe 2. Globalement, on peut proposer le classement suivant :

Sols témoins : $2 < 3 < 1$

Réponse au fumier : $3 < 1 < 2$

5.5.4 Groupes constitués sur les données de production végétale

5.5.4.1 A Nioro

Tableau XXXVII : Groupes de production végétale pour la zone de Nioro.

Groupe	Fréquence	Placettes témoins					Réponse au fumier				
		Nb épis ha ⁻¹	% Epis fertiles	Poids (g) grains/épi	grains kg ha ⁻¹	MStotale kg ha ⁻¹	Nb épis ha ⁻¹	% Epis fertiles	Poids (g) grains/épi	Grains kg ha ⁻¹	MStotale kg ha ⁻¹
1	21	51371	89	20.65	972	3551	3314	08	7.04	496	1889
2	10	16600	60	17.26	166	1213	8560	29	5.74	386	1199
3	10	30760	88	18.93	524	2125	33880	10	7.71	1164	4078
4	3	3067	00	0.00	6	876	34000	93	18.70	685	3099

Parmi les quatre groupes constitués (Tableau XXXVII), le premier, qui rassemble 21 individus, se détache nettement des autres par des moyennes 1.7 à 1.8 fois supérieures (nombre d'épis, rendement grains, MS totale) par rapport au groupe le plus proche (groupe 3). Le groupe 4 est constitué des quelques placettes sinistrées et se classe dernier. Le groupe 3 offre la plus forte réponse au fumier en ce qui concerne les valeurs brutes. Etant donné la faible productivité des placettes témoins du groupe 4, tout accroissement relatif dû au fumier prend rapidement des proportions énormes, avec, par exemple, un rendement moyen 114 fois plus important que sur les témoins. Il en va de même pour le groupe 2, dont les témoins ne sont guère éloignés du groupe 4. On peut résumer ces positions respectives de la manière suivante :

Témoins : $4 < 2 < 3 \ll 1$

Réponse au fumier (valeurs brutes) : $2 < 1 < 4 < 3$

5.5.4.2 A Bambeby

Tableau XXXVIII : Groupes de production végétale pour la zone de Bambeby.

Groupe	Fréquence	Placettes témoins					Réponse au fumier				
		Nb épis ha ⁻¹	% Epis fertiles	Poids (g) grains/épi	Grains kg ha ⁻¹	MStotale kg ha ⁻¹	Nb épis ha ⁻¹	% Epis fertiles	Poids (g) grains/épi	Grains kg ha ⁻¹	MStotale kg ha ⁻¹
1	3	12000	38	23.92	102	1216	8533	25	-12.27	33	329
2	2	39200	31	13.52	181	2724	-20200	6	1.17	-81	-1397
3	2	28200	45	16.20	205	2469	25800	8	2.13	269	678
4	7	15714	49	12.25	85	1208	2514	4	1.42	40	67

On aboutit, là aussi, à la formation de quatre groupes (Tableau XXXVIII). Sur l'ensemble des données des placettes témoins, ce sont les groupes 2 et 3 qui présentent les plus hauts niveaux de production, privilégiant le rendement en grains ou en MS totale selon le groupe. Ces deux groupes ne rassemblent que 4 placettes. En ce qui concerne la réponse au fumier, le groupe 3 se distingue à nouveau par ses valeurs élevées, qu'il s'agisse de gains nets ou relatifs. A l'inverse, le groupe 2 présente une réponse négative à l'apport de fumier alors que ces deux groupes appartiennent au même groupe pour le classement fait sur les caractéristiques des fumiers. Pour résumer :

Témoins : $4 < 1 < 2 \cong 3$

Réponse au fumier : $2 < 4 < 1 < 3$

L'ensemble des comportements individuels est résumé dans le Tableau XXXIX et le Tableau XL pour lesquels les réponses sont classées par rapport aux valeurs brutes et non en utilisant les accroissements relatifs. Les notes A, B, C et D correspondent à un niveau de plus en plus faible.

Tableau XXXIX : Niveaux des témoins et de la réponse au fumier pour les variables étudiées, Nioro.

Placette	Caractéristiques des sols		Variables biologiques		Production végétale		Doses fumier
	Témoins	Réponse	Réponse	Témoins	Témoins	Réponse	
P1 B1	D	C	A	A	D	B	B
P1 B2	C	A	A	A	D	B	A
P2 B1	C	A	A	A	A	C	A
P2 B2	C	A	A	A	A	C	B
P3 B1	D	C	A	A	C	A	B
P3 B2	C	A	A	A	B	D	B
P4 B1	C	A	B	B	A	C	B
P4 B2	B	D	A	A	A	C	B
P6 B1	C	A	A	A	D	B	A
P6 B2	C	A	B	B	C	A	B
P7 B1	C	A	B	B	A	C	B
P7 B2	C	A	A	A	A	C	A
P8 B1	A	B	A	A	A	C	A
P8 B2	A	B	A	A	B	D	A
P9 B1	B	D	B	B	C	A	B
P9 B2	C	A	B	B	C	A	B
P10 B1	D	C	B	B	B	D	B
P10 B2	D	C	B	B	D	B	B
P11 B1	B	D	A	A	B	D	C
P11 B2	A	B	A	A	C	A	C
P13 B1	B	D	B	B	C	A	B
P13 B2	C	A	B	B	A	C	B
P14 B1	C	A	A	A	B	D	C
P14 B2	B	D	A	A	B	D	B
P15 B1	D	C	C	C	A	C	B
P15 B2	D	C	C	C	A	C	B
P16 B1	C	A	C	C	A	C	C
P16 B2	C	A	B	B	A	C	C
P17 B1	D	C	C	C	C	A	C
P17 B2	D	C	C	C	C	A	B
P18 B1	B	D	B	B	A	C	C
P18 B2	C	A	B	B	C	A	B
P19 B1	B	D	A	A	A	C	C
P19 B2	B	D	A	A	C	A	B
P20 B1	B	D	A	A	C	A	B
P20 B2	B	D	A	A	C	A	A
P21 B1	B	D	B	B	A	C	C
P21 B2	D	C	C	C	B	D	C
P23 B1	A	B	A	A	A	C	C
P23 B2	A	B	A	A	A	C	C
P24 B1	B	D	C	C	B	D	A
P24 B2	B	D	C	C	B	D	A
P25 B1	B	D	B	B	A	C	B
P25 B2	B	D	B	B	B	D	A

Les notes A, B, C et D correspondent à un niveau de plus en plus faible.

Tableau XXXIX : Niveaux des témoins et de la réponse au fumier pour les variables étudiées à Bambey.

Placette	Caractéristiques des sols		Variables biologiques		Production végétale		Doses fumier
	Témoins	Réponse	Témoins	Réponse	Témoins	Réponse	
P5 B1	A	B	B	A	C	B	B
P5 B2	C	A	B	A	D	C	A
P12 B1	C	A	B	A	D	C	A
P12 B2	C	A	B	A	D	C	A
P13 B1	C	A	B	A	D	C	B
P13 B2	C	A	B	A	D	C	B
P18 B1	B	C	B	A	C	B	A
P18 B2	B	C	B	A	D	C	A
P20 B1	B	C	A	B	B	D	B
P20 B2	B	C	B	A	D	C	B
P21 B1	A	B	A	B	A	A	B
P21 B2	A	B	A	B	A	A	B
P24 B1	B	C	A	B	C	B	B
P24 B2	A	B	A	B	B	D	B

Les notes A, B, C et D correspondent à un niveau de plus en plus faible.

Si l'on essaye de regrouper les placettes, présentant un comportement identique pour l'ensemble des variables, sur la base d'un tri décroissant effectué sur les caractéristiques physico-chimiques des sols témoins, on obtient, pour les 44 individus de Nioro (Tableau XLI), 32 sous-groupes comprenant entre 1 et 3 individus, ce qui n'apporte pas d'élément explicatif des interactions entre variables. Toutefois, cette multiplicité est en grande partie le fait des résultats de production végétale qui présentent la plus forte variabilité, eu égard aux très nombreux facteurs (pas tous quantifiés) dont celle-ci dépend. Mais si l'on s'arrête aux variables physico-chimiques et biologiques des sols, l'ensemble est réduit à 10 sous-groupes (sur 12 combinaisons possibles) qui présentent une certaine cohérence. En effet, si l'on classe les sols témoins par niveau de « fertilité chimique » décroissante (A à D), on note une cohérence avec le niveau de réponse de ces variables aux apports de fumier : pour cette zone, plus le témoin biologique est élevé, plus sa réponse est importante, allant progressivement de A à C. Les cinq sols témoins de niveau A correspondent exclusivement à des sols de niveau biologique A alors que les sols témoins du groupe D présentent une majorité de sols de niveau biologique C (le plus bas), par ailleurs très peu représenté dans les sols témoins de niveau B et C. Même la production végétale semble, malgré sa variabilité, suivre cette tendance puisque l'on ne relève aucune production de niveau D sur les témoins dans les groupes de sols A et B.

Pour la zone de Bambey (Tableau XLII), on retrouve les observations déjà formulées pour Nioro mais avec davantage de netteté. En effet, du groupe des sols témoins de niveau A

(q_{BMc}), qui résulte du rapport du carbone microbien sur le carbone total du sol et permet également de juger de l'évolution d'un système (Chaussod *et al.*, 1992), ne pourra être que partiellement comparé (en termes d'ordres de grandeur) aux q_{BMc} rencontrés dans la littérature et acquis à partir de mesures de biomasses *in situ* (généralement compris entre 1 et 4% mais pouvant dans certains cas atteindre 10% comme l'ont montré Badiane *et al.* (1999) ; son intérêt est de permettre une comparaison entre différents traitements ou différents sols sur un critère biomasse microbienne « normalisé ». Il est généralement admis que lorsqu'un sol est mal ou sur-exploité, la biomasse microbienne décroît plus rapidement que la matière organique du sol, d'où une baisse du q_{BMc} (Sparling, 1997). La réciproque est vraie et donc plus un q_{BMc} est élevé, meilleur est supposé l'état de « santé » du sol (Pankhurst *et al.*, 1997) puisque plus favorable aux microorganismes. Mais cette augmentation du q_{BMc} peut également être due à une modification de la nature de la MOS aboutissant à un accroissement de la fraction facilement minéralisable et donc très accessible pour les microorganismes (Chaussod *et al.*, 1992) (Smith et Paul, 1990). De même, on peut observer une augmentation de ce quotient si l'on réduit le travail du sol (Friedel *et al.*, 1996 cité par Chaussod, 1996).

4.3.2.1 A Thyssé-Kaymor

Les données de biomasse microbienne sont très limitées sur cet essai et se résument à des mesures avant campagne, en post-récolte et au cours de la saison sèche qui a suivi, et ce pour les traitements P3, P5 et P6 qui présentaient les résultats les plus contrastés (P3 d'une part, P5-P6 d'autre part). La biomasse BM_C avant campagne représente 18 mg kg⁻¹ pour P3 et 38 à 40 mg kg⁻¹ pour P5 et P6 ce qui conduit à des q_{BMc} de 0.95% pour P3, 1.58% pour P5 et 1.54% pour P6. Après la récolte, les biomasses ne sont plus comprises qu'entre 17 et 31 mg kg⁻¹, et restent très stables au cours de la saison sèche (Figure 23).

La BM_C (sauf BM_{C3} mesurée en février 1997) et la production estimée d'azote nitrique évoluent dans le même sens, quelle que soit la méthode de calcul utilisée (Nit_{nt} , Nit_{per} ou Nit_{fix}) (Tableau XXII). Il en va de même entre la BM_C et la MS totale, ou encore la teneur en argile, les pH et la matière organique du sol. Toutefois, il convient de rappeler que ces observations ne sont établies que sur la base de seulement trois points.

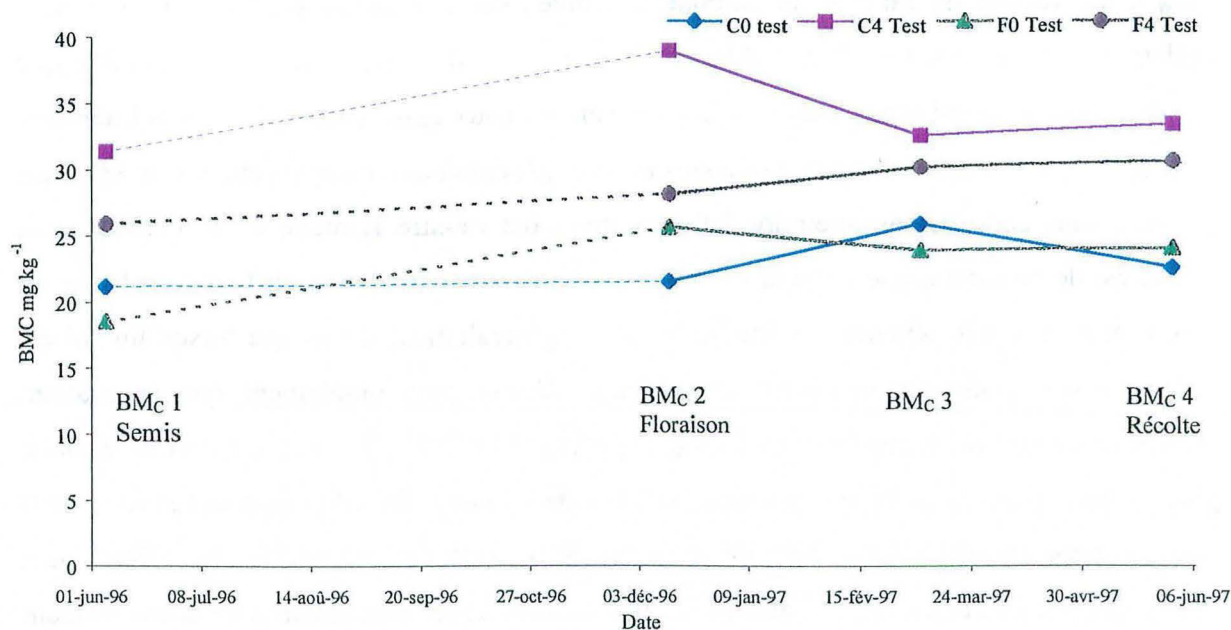


Figure 24 : Evolution de la biomasse microbienne (BMC en $mgC\ kg^{-1}$) sur l'essai RMO pérenne de Bambeby au cours de l'année 1996-97.

Tableau XXIII : Matrice des corrélations (partielle) pour les composantes biologiques des sols de l'essai RMO pérenne de Bambeby, campagne 1996.

	Nit _{nt}	BMC1	BMC2
Nit _{nt}	1	0.4085	0.5701
BMC1	0.4085	1	0.7289
BMC2	0.5701	0.7289	1
Grains	0.8074	0.2170	0.4434
Paille	0.7814	0.2700	0.5299
MS totale	0.8077	0.2453	0.5965
Export.N	0.8693	0.3555	0.7130
Export.P	0.8311	0.3728	0.6577
Export.K	1.0000	0.4085	0.5701
Export.Ca	0.6311	0.2439	0.3856
Export.Mg	0.6816	0.1288	0.4567
Argiles	-0.2235	-0.1408	-0.5290
Limons fins	0.1349	0.1413	0.2633
Sables	0.0678	0.0096	0.2077
Ct	0.0134	0.6951	0.5588
Nt	0.3125	0.8099	0.8406
Pass	0.0444	0.5412	0.3359
Ca	0.0689	0.3903	0.2995
Mg	0.2220	0.6843	0.7018
K	0.4699	0.4915	0.0194
CEC	0.1386	0.3209	0.4091
pHKCl	0.5204	0.6826	0.5008
pHeau	0.4471	0.7120	0.3339

Les corrélations significatives sont signalées en gras.
Les corrélations significatives ≥ 0.700 sont soulignées.

Tableau XLI : Profils de comportements homogènes (sur la base d'un tri décroissant) pour Nioro.

Fertilité chimique des sols		Etat biologique des sols		Production végétale		Fumier
Témoin	Réponse	Témoin	Réponse	Témoin	Réponse	Apport
5A	5B	5A	5A	3A	3C	1A 2C
				1B	1D	1A
				1C	1A	1C
15B	15D	7A	7A	2A	2C	1B 1C
				2B	2D	1B 1C
				3C	3A	1A 2B
		6B	6B	3A	3C	1B 2C
				1B	1D	1A
				2C	2A	2B
15C	15A	2C 7A	2C 7A	2B 3A	2D 3C	2A 2A 1B
				2B	2D	1B 1C
				2D	2B	2A
		7B	7B	4A	4C	3B 1C
				3C	3A	3B
		1C	1C	1A	1C	1C
9D	9C	2A	2A	1C	1A	1C
				1D	1B	1B
		2B	2B	1B	1D	1B
				1D	1B	1B
		5C	5C	2A	2C	2B
				1B	1D	1C
				2C	2A	1B 1C

à celui des sols de niveau C, les niveaux biologiques de ces mêmes témoins évoluent de A à B, les sols de niveaux C regroupant exclusivement des témoins de niveau biologique B (le plus faible) alors que les sols de niveau A sont majoritairement constitués de sols de niveau biologique A. La production végétale suit exactement la même tendance, allant du niveau A pour les sols de type A, au niveau D qui est seul représenté dans le groupe de sols C. La réponse au fumier des variables biologiques (dans cette zone, la réponse est d'autant plus marquée que les témoins sont faibles, contrairement à Nioro) croît depuis les sols de niveau A jusqu'à ceux de niveau C, suivant en cela le classement portant sur les fumiers, majoritairement de niveau A dans les sols de type C, et exclusivement de niveau B (les plus pauvres) dans les sols de niveau A.

Tableau XLII : Profils de comportements homogènes (sur la base d'un tri décroissant) pour Bambey.

Fertilité chimique des sols		Etat biologique des sols		Production végétale		Fumier
Témoin	Réponse	Témoin	Réponse	Témoin	Réponse	Apport
4A	4B	3A	3B	2A	2A	2B
				1B	1D	1B
		1B	1A	1C	1B	1B
5B	5C	2A	2B	1B	1D	1B
				1C	1B	1B
		3B	3A	1C	1B	1A
				2D	2C	1A 1B
5C	5A	5B	5A	5D	5C	3A 2B

5.6 DISCUSSION

Cet essai multilocal a montré des effets « zone » et « fumier » très marqués sur l'ensemble des paramètres analysés.

Effet zone

Les sols de Nioro sont globalement plus fertiles, d'un point de vue chimique, que ceux de Bambey et les quantités de fumier apportées y sont plus importantes car la disponibilité y

est supérieure et l'équipement des paysans plus conséquent (charrettes notamment). La qualité et la composition brute des fumiers semblent influencées par leur provenance puisque les fumiers de Nioro sont généralement plus riches en N, K et Mg, ceux de Bambey apportant davantage de P et de Ca. On retrouve des déjections de bovins en abondance à Nioro alors qu'elles sont absentes à Bambey où les fèces des petits ruminants dominant (ovins, caprins). Le régime hydrique est nettement plus favorable à Nioro qu'à Bambey ce qui, avec une nitrification nette *in situ* à Nioro plus élevée en début de cycle et un meilleur développement de la BM_C au cours du cycle, explique l'écart entre les niveaux de rendements atteints dans les deux zones. Par ailleurs, le système racinaire de la culture joue très vraisemblablement un rôle non négligeable dans l'accroissement de la BM_C au cours du cycle en lui fournissant, par le biais de l'exsudation racinaire, un substrat énergétique. Le plus fort développement de la culture, et donc du système racinaire, dans la zone de Nioro en conditions hydriques favorables pourrait expliquer, du moins en partie, la différence observée entre zones sur l'accroissement de la BM_C .

Effet fumier

L'apport de fumier s'est, presque toujours, traduit par un accroissement des variables étudiées, qu'il s'agisse des caractéristiques chimiques du sol, de la biomasse microbienne ou de la production végétale. L'effet du fumier est également positif sur la nitrification nette, qu'elle soit mesurée *in situ* ou au laboratoire, mais uniquement dans la zone de Nioro. L'effet du fumier sur les paramètres étudiés varie beaucoup, à la fois en fonction de la zone et du champ considérés.

Cette variabilité à plusieurs niveaux ne nous a pas permis d'établir des relations entre les variables étudiées aussi étroites que celles obtenues en station. En effet, si ces relations sont significatives, certaines d'entre elles présentent des R^2 relativement faibles. Toutefois, on notera les assez bonnes liaisons entre Nit_{pot} et le complexe absorbant, entre Nit_{pot} et la MOS et enfin entre la BM_C et la MOS. L'explication de cette réduction des relations entre variables est simple. En effet, nous avons mis en évidence des types de réponse des sols différents, voire opposés, pour des témoins souvent proches. L'exemple le plus flagrant se situe au niveau des caractéristiques chimiques des sols de Nioro où, sur les 4 groupes définis, deux d'entre présentent des témoins quasiment identiques (niveau intermédiaire) et des niveaux de réponse extrêmes allant d'un effet nul voire faiblement négatif du fumier, à la réponse la plus forte observée dans cette zone. La question qui se pose alors est de savoir si ces différences de

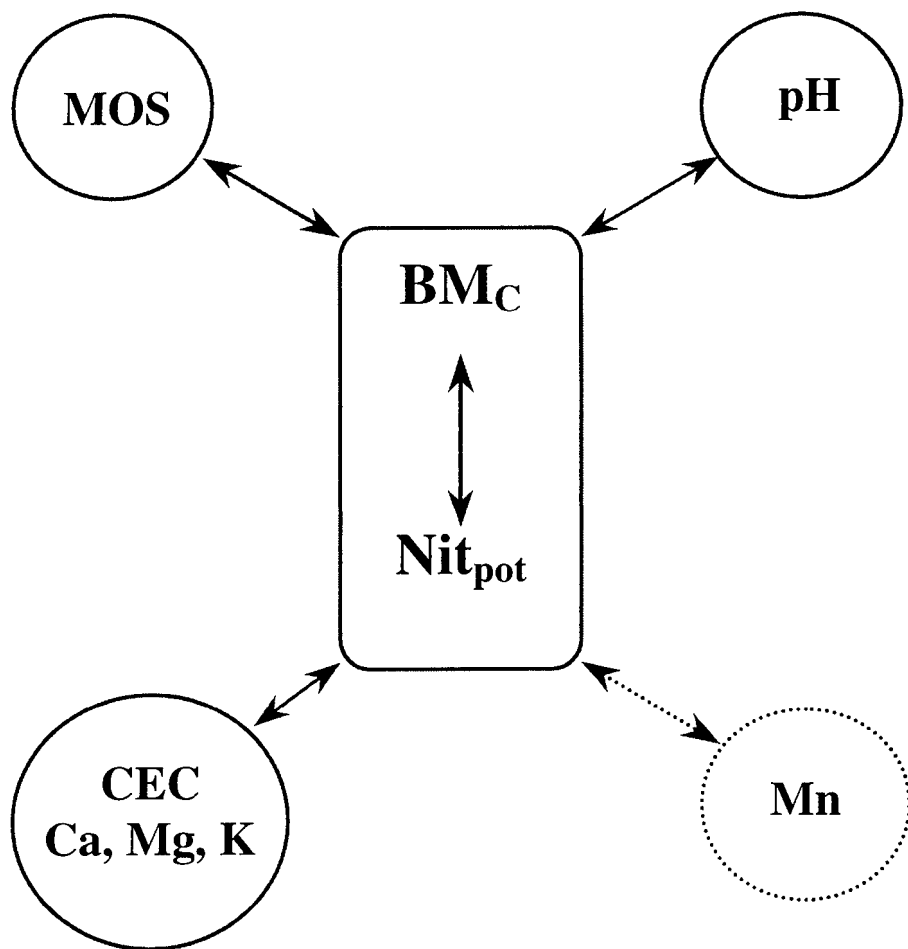


Figure 43 : Liaisons entre les variables étudiées pour la zone de Nioro (Z1)

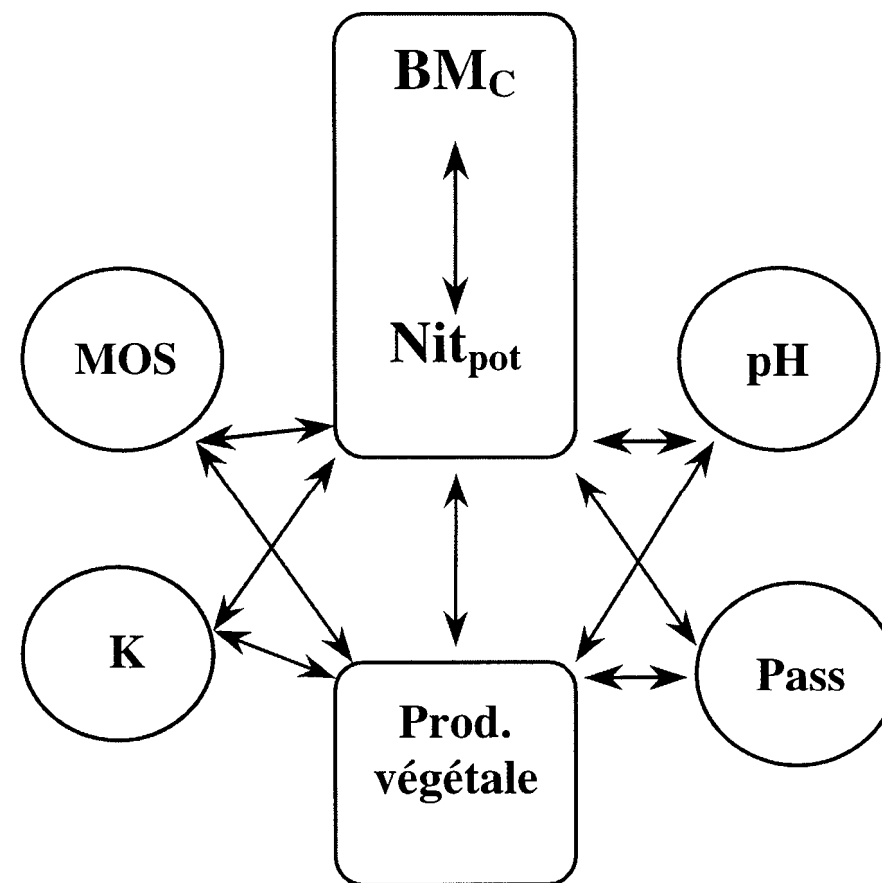


Figure 44 : Liaisons entre les variables étudiées pour la zone de Bambe (Z2)

N. B. 1 : Les traits en pointillés représentent des corrélations négatives

N. B. 2 : Les liaisons entre les caractéristiques physico-chimiques du sol (MOS, CEC, pH, ...) ne sont pas représentées car connues de longue date.

réponse sont dues à des facteurs extérieurs au sol et mal maîtrisés, tels une composition biochimique du fumier particulière, un historique cultural différent ou encore des facteurs pédo-climatiques très localisés, ou s'il peut exister, à l'échelle de notre étude, des fonctionnements biologiques des sols réellement différents.

5.7 CONCLUSION

Conformément à ce qui était attendu, cet essai multilocal en milieu paysan a, d'une part montré un très fort effet de la zone d'étude et de l'apport de fumier sur les variables choisies, et, d'autre part, fait apparaître une grande variabilité de la réponse d'un sol et de sa culture à l'apport de fumier. Cette réponse a, de façon quasi systématique, été positive mais s'est manifestée, selon les variables, avec des amplitudes différentes. S'il n'a pas été possible de dégager des « lois » fortes du fonctionnement biologique de ces sols, on a tout de même retrouvé certaines tendances significatives déjà remarquées sur les essais en station comme les liaisons existant entre Nit_{nt} et le complexe absorbant, également entre Nit_{nt} et la MOS ou encore entre la BM_C et la MOS (voir Figures 43 et 44). De plus, nous avons pu distinguer différents groupes de réponse à l'apport de fumier, tant au niveau des caractéristiques chimiques et biologiques des sols que de leur production végétale, ce qui explique aussi ces relations moins fortes entre variables, un même traitement n'entraînant pas toujours un effet de même amplitude. Si la combinaison de ces groupes nous a conduit à un grand nombre de types de comportement (ou profils) ne comprenant que quelques individus, il s'en dégage tout de même une certaine logique. En effet, dans les deux zones, les sols témoins les plus « riches » et actifs sur un plan biologique sont également ceux dont la fertilité chimique est la plus élevée, et plus cette fertilité chimique est dégradée, plus le pool biologique est faible. La production végétale semble évoluer dans le même sens malgré sa grande variabilité. La réponse à l'apport de fumier différencie les deux zones puisque l'on observe à Bambey (Z2) que cette réponse est la plus importante sur les sols les plus pauvres, contrairement à ce qui se produit à Nioro (Z1).

6 CONCLUSION GENERALE

Notre approche systémique de la fertilité des sols repose, d'une part sur l'existence d'interactions entre différents groupes de variables (souvent étudiées séparément de manière très approfondie) qui sont les aspects physiques, chimiques et biologiques du sol, ainsi que la capacité de ce dernier à produire, et d'autre part sur l'hypothèse du rôle central de l'interaction entre la matière organique du sol (MOS) et de la biomasse microbienne (BM_C) dans la fertilité des sols ferrugineux tropicaux.

Notre étude s'organise autour de deux axes qui sont d'une part l'évaluation des effets des pratiques culturales, notamment d'apports de matière organique (fumier ou compost), sur l'état global de fertilité d'un sol, et d'autre part la recherche des relations existant entre ces diverses variables afin de mieux comprendre le fonctionnement biologique de ces sols. On a fait l'hypothèse que la composante biologique est le principal régulateur de la fertilité et conditionne ainsi la réponse des sols aux facteurs externes (milieu, pratiques culturales).

Etant donné la nature très sableuse de ces sols profonds à argiles 1:1 et à structure particulière, la composante physique n'a pas été étudiée car elle ne représente pas, dans le cadre de notre étude, une contrainte majeure. Nous nous sommes donc concentrés sur les caractéristiques chimiques classiques des sols (Ct, Nt, Pass, complexe absorbant et pH), la BM_C et son activité nitrifiante comme variables biologiques déterminantes, et enfin la production de MS totale et les exportations minérales. La qualité des matières organiques épandues a également été analysée. Au plan méthodologique, si l'analyse et la mesure de la composante chimique, pratiquée depuis longtemps, ne pose pas de problèmes particuliers, en revanche, l'évaluation de la composante biologique a nécessité une mise au point méthodologique.

Les principaux résultats méthodologiques et agronomiques portent sur :

Résultats méthodologiques

Le premier résultat (Fardoux *et al.*, 1999) concerne la quantification de la BM_C des sols ferrugineux tropicaux. Si elle ne peut être réalisée sur sol frais, ainsi qu'il est recommandé (Chaussod *et al.*, 1986), il est possible de l'estimer en utilisant la méthode de Fumigation-Extraction puis dosage de N α -aminé sur l'échantillon de sol séché à l'air et pré-

incubé 14 j à pF 1.8 et à 30°C. Il faut cependant garder à l'esprit que la BM_C ainsi déterminée est une sous-estimation de la BM_C réelle.

Le second résultat concerne la relation entre les flux bruts et nets de nitrification mesurés *in situ* dans des cylindres d'incubation, méthode peu usitée et expérimentée depuis peu au CIRAD. Lorsque cette comparaison a été rendue possible, il est apparu qu'il existait une relation linéaire significative mais non prédictive (et $R^2 = 0.59$) entre la nitrification nette (Nit_{nt}) et la nitrification brute (où le défaut de bilan ^{15}N est attribué à des pertes par drainage).

Ces deux résultats permettent : (1) de retarder la quantification de la BM_C pour la réaliser hors période culturale (souvent très chargée) et/ou de pallier à des difficultés logistiques de conservation au frais des échantillons ; (2) de se dispenser de l'emploi, à la fois délicat et coûteux, du ^{15}N pour déterminer la nitrification brute et d'utiliser la nitrification nette, facilement réalisable, pour l'estimer. Il est toutefois nécessaire de vérifier ces résultats sur d'autres sols et d'autres conditions que celles que nous avons rencontrées.

Effet des pratiques culturales sur l'évolution de la fertilité des sols

Il est apparu que la dégradation de la MOS consécutive à la remise en culture d'une jachère herbacée est extrêmement rapide (40% de perte en Ct lors de la première année), et que le nouvel état d'équilibre est atteint en moins de 4 années après la défriche, ce qui rejoint les résultats d'autres auteurs (Feller *et al.*, 1991 ; Tiessen et Shang, 1998) obtenus sur l'ensemble de la zone intertropicale lors d'un changement brutal de pratique culturale et qui semble également se traduire par une modification de la nature même de la MOS, plus facilement minéralisable et donc pourvoyeuse de nutriments accessibles à la culture. Cette hypothèse est renforcée par les résultats qui suivent. En effet, la perte en MOS s'accompagne également d'une diminution de la CEC et du pH, ainsi que d'une BM_C qui reste stable au cours du cycle au lieu de croître jusqu'à la fin de la saison humide comme nous l'avons observé par ailleurs sur des sols stabilisés, validant ainsi en milieu paysan les résultats obtenus par Badiane *et al.* (1999). Parallèlement, le rendement est très élevé pendant la phase de dégradation rapide de la MOS (2 ans), phase pendant il n'est pas influencé par des apports de matière organique exogène (fumier et compost), puis s'effondre avant de montrer un effet dose de matière organique apportée. Le rendement a donc bien joué son rôle d'indicateur global de la fertilité du sol. De plus, la BM_C et la Nit_{nt} sont plus élevées sur une parcelle en première année de culture après défriche que sur une parcelle défrichée depuis plus de 4 ans, montrant bien qu'à l'image du statut organique du sol, son statut biologique s'est également dégradé.

Dans le cas d'un changement important de pratique culturale induisant une rupture d'équilibre pour le sol, l'effet d'un apport de matière organique n'est pas perceptible dans l'immédiat tant le phénomène de dégradation est prononcé. Ce n'est qu'en troisième année après défriche que l'effet positif sur les rendements se manifeste. Ses effets sur l'état chimique du sol, notamment la MOS et le complexe absorbant, sont apparents après 4 années et 2 apports de matière organique. L'arrière-effet à plus de deux années de ces apports est sensible uniquement sur la BM_C et le rendement. La BM_C semble donc être un indicateur sensible de l'évolution du sol à court et moyen terme.

Si cet apport est fait sur un sol cultivé depuis plusieurs années de façon régulière, et donc a priori dans un état d'équilibre, l'effet positif du fumier est très rapidement visible sur toutes les variables étudiées, qu'il s'agisse de la fertilité chimique du sol, de sa composante biologique ou encore des rendements. Toutefois, cet effet est d'amplitude très variable, à la fois fonction de la composition du fumier épandu, de la zone dans laquelle on se situe, de la parcelle paysanne considérée et du niveau de MOS. C'est cette variabilité que nous avons utilisé pour définir des typologies de comportement des sols et rechercher les liaisons entre toutes nos variables.

Les profils de comportement des sols

Les profils de comportement obtenus sont multiples mais présentent, dans l'ensemble, une belle cohérence malgré la grande variabilité du milieu d'étude (parcelles paysannes). On précisera que cette cohérence est liée à une zone écologique donnée car, entre le Nord et le Sud du Bassin Arachidier, le comportement biologique du sol et sa réponse à un apport de fumier sont différentes. Toutefois, nous ne sommes pas en mesure de dire si les différences de comportement observées, même au sein d'une zone donnée, représentent réellement des fonctionnements biologiques intrinsèques différents, ou si elles résultent de paramètres extérieurs non mesurés. La réponse se situe probablement entre ces deux hypothèses.

Liaisons entre les variables

Nous avons relevé un certain nombre de relations entre les variables étudiées mais leur degré de liaison semble varier selon l'essai considéré, notamment en milieu paysan où les liaisons sont plus distendues. Ces écarts entre essais sont dus à des différences de comportement parfois importantes de la réponse au fumier observée en milieu paysan. Les profils de comportements comportant très peu d'individus (1 à 3), rechercher des relations dans de si petits échantillons n'apporterait pas de résultats probants. Toutefois, quelques

tendances se dégagent des résultats de ces divers essais. En effet, en dehors des relations bien connues entre la MOS, le complexe absorbant et le pH, la Nit_{nt} semble liée au complexe absorbant et au pH. Elle semble également en mesure d'expliquer une part non négligeable de la variabilité la production végétale et est fréquemment liée à la BM_{C} . Celle-ci apparaît liée à la MOS. Quant au rôle de la teneur en argile dans l'explication de la variabilité de Nit_{nt} , il demande à être confirmé. Ces résultats confortent nos hypothèses de départ même s'ils ne nous permettent pas encore de connaître les déterminants de la composante biologique de ces sols sableux. On retiendra donc la relation entre les variables biologiques mais aussi entre ces variables biologiques d'une part et la CEC et le pH d'autre part. Dans certains cas, ces relations avec les variables biologiques sont élargies à la MOS et à la production végétale, notamment dans le cas d'une forte contrainte hydrique en ce qui concerne la production végétale.

7 PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Notre approche a permis de mettre en évidence différentes typologies de comportement des sols en milieu paysan ainsi qu'un certain nombre de liaisons entre les diverses variables étudiées. Elle a toutefois montré ses limites en ne précisant pas les déterminismes du fonctionnement biologique des sols étudiés. De plus, on est en droit de se demander si la diversité observée exprime de réelles différences de comportement des sols ou si celles-ci sont uniquement le résultat de paramètres non mesurés pendant cette étude.

Parmi toutes les variables explicatives du fonctionnement biologique des sols en interaction forte avec les composantes de la fertilité, certaines méritent une étude approfondie. Il s'agit notamment de la composition biochimique des fumiers (en particulier leur teneurs en fibres et en composés phénoliques eu égard à leur influence sur la cinétique de dégradation du fumier) et de son influence, non seulement sur la population microbienne totale (BM_C), mais aussi sur sa biodiversité car le fumier peut modifier l'équilibre spécifique ainsi que l'avaient déjà constaté Guillemat et Montegut entre 1956 et 1958 (cités par Morel, 1989) et Davet en 1996. Cette biodiversité microbienne peut à présent être approchée grâce à une méthode moléculaire : l'analyse des acides gras microbiens issus des phospholipides (PLFA) et lipopolysaccharides (LPS) dite FAME (Fatty Acid Methyl Esters). Il est également possible d'utiliser les enzymes produites par les microorganismes du sol comme indicateurs biologiques de « l'état de santé » d'un sol et des changements induits par l'apport de fumier ou par les pratiques culturales (Dick, 1992 et 1994). Par ailleurs, la quantification du C organique particulaire (COP) qui, constitué de débris végétaux, microbiens et macrofauniques, représente une matière organique non décomposée dont le turnover est rapide (quelques semaines), est également susceptible d'être une variable explicative intéressante du fonctionnement biologique des sols. En effet, ce COP est une source de C pour les micro-organismes du sol et est susceptible d'améliorer la stabilité des agrégats de ces sols très sableux et sensibles à l'érosion.

Afin de comprendre le fonctionnement biologique de ces sols, il semble donc nécessaire d'envisager une étude en conditions contrôlées et l'utilisation de techniques

d'approche fine de la diversité biologique des microorganismes du sol (analyse fine du fumier et méthode FAME entre autres).

Sur un plan méthodologique, les études que nous avons conduites (i) en ce qui concerne l'évaluation de la biomasse microbienne sur sol séché réhumecté par rapport à un sol frais devrait être étendue à un plus large échantillonnage afin, si possible, de dégager un taux de conversion constant, au moins pour les sols ferrugineux tropicaux, (ii) en ce qui concerne la bonne liaison existant entre la nitrification brute et la nitrification nette mesurées *in situ*, il convient de la vérifier dans d'autres situations afin d'assurer à ce critère une représentativité suffisante.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR, 1996a. Dosage de l'azote total - Méthode de Kjeldahl modifiée - NF ISO 11261. In *Qualité des sols*, 257-264, AFNOR (eds.) Paris, France .
- AFNOR, 1996b. Dosage du carbone organique et du carbone total après combustion sèche - NF ISO 10694. In *Qualité des sols*, 189-200, AFNOR (eds.) Paris, France .
- Amato M. et Ladd J.N., 1988. Essay for microbial biomass based on ninhydrin - reactive nitrogen in extracts of fumigated soils. *Soil Biology and Biochemistry* 20 (1) : 107-114.
- Anderson J.P.E. et Domsch K.H., 1978. Mineralization of bacteria and fungi in chloroform-fumigated soils. *Soil Biology and Biochemistry* 10 : 207-213.
- Badiane A., 1993. Le statut organique d'un sol sableux de la zone Centre-Nord du Sénégal. Doctorat de l'INPL Sciences Agronomiques, INPL - ENSAIA, Nancy, France, 144p et annexes.
- Badiane A. et Lesage B., 1997. *Rapport analytique des activités de recherche : opération "recyclage de la matière organique, fixation de l'azote"*. Bambey, Sénégal : ISRA/CNBA, 83 p (+ synthèse 7 p).
- Badiane A., Ganry F. et Jacquin F., 1999. Les variations au champ de la biomasse microbienne d'un sol cultivé : conséquences sur la réserve organique mobilisable (cas d'un sol ferrugineux tropical au Sénégal). *Comptes-Rendus de l'Académie d'Agriculture de France* (328) : 45-50.
- Bertrand R., 1971. Carte pédologique de la région de Nioro.
- Birch H.F., 1952. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant and Soil* 10 : 1-31.

- Bolton H., Elliott L.F., Papendick R.I. et Bezdicek D.F., 1985. Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities : effect of fertilization and cropping practices. *Soil Biology and Biochemistry* 17 : 297-302.
- Brouwers M. et Fortier M., 1989. Caractéristiques hydrodynamiques et physiques d'un sol ferrugineux du Sine Saloum - Sénégal. Montpellier: CIRAD/ENSAM.
- Burdin S. et Egoumenides C., 1973. Détermination de l'azote ammoniacal et nitrique dans les sols et les eaux. Méthodes de dosage automatique. *L'Agronomie Tropicale* (12) : 1193-1199.
- Charreau C. et Nicou R., 1971. L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zote tropicale sèche ouest-africaine et ses incidences agronomiques (d'après les travaux des chercheurs de l'IRAT en Afrique de l'Ouest). *Bulletin agronomique* 23 : 1-254.
- Chaussod R., 1996. La qualité biologique des sols : évaluation et implications. *Etude et Gestion des Sols* 3 (4) : 261-278.
- Chaussod R., Nicolardot B. et Catroux G., 1986. Mesure en routine de la biomasse microbienne des sols par la méthode de fumigation au chloroforme. *Science du Sol* (2) : 201-211.
- Chaussod R., Zuvia M., Breuil M.-C. et Hetier J.-M., 1992. Biomasse microbienne et "statut organique" des sols tropicaux : exemple d'un sol vénézuélien des Llanos sous différents systèmes de culture. *Les Cahiers de l'ORSTOM-Série Pédologie* (1) : 59-67.
- Chopart J.-L. et Nicou R., 1989. Vingt ans de culture continue avec ou sans labour au Sénégal. *L'Agronomie Tropicale* (4) : 269-281.
- Collins H.P., Rasmussen P.E. et Douglas C.L. Jr, 1992. Crop Rotation and Residue Management on soil carbon and microbial dynamics. *Soil Science Society of America Journal* (56) : 783-788.

- Dabin B., 1967. Sur une méthode d'analyse du phosphore dans les sols tropicaux. In *Colloque sur la fertilité des sols tropicaux*, 19-25 novembre 1967, Tananarive, Madagascar.
- Davet P., 1996. Vie microbienne du sol et production végétale. INRA, coll. Mieux comprendre, Paris (France), 383p.
- Detwiler R.P., 1986. Land use change and the global carbon cycle : the role of tropical soils. *Biogeochemistry* 2 : 161-193.
- Diagne M., Fall M. et Ngom N., 1996. Suivi de la campagne agricole au Sénégal - Situation au 10 juillet 1996. Dakar, Sénégal: ISRA/PC/CNBA.
- Dick R.P., Rasmussen P.E. et Kerle E.A., 1988. Influence of long-term residue management on soil enzyme activities in relation to soil chemical properties of a wheat-fallow system. *Biology and Fertility of Soils* 6 : 159-164.
- Dick R.P., 1992. A review : long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 40 : 25-36.
- Dick R.P., 1994. Soil enzymes activities as indicators of soil quality. In Doran *et al.* (Eds.) *Defining soil quality for a sustainable environment*, Soil Science Society of America Special Publication Madison, WI, 107-124.
- Dommergues Y., 1972. Problèmes actuels de microbiologie et de biochimie soulevés par la mise en valeur des sols sénégalais. Bambey, Sénégal: IRAT/CNRA.
- Dommergues Y. et Mangenot F., 1970. *Ecologie microbienne du sol*. Paris, France : Masson, 795p.
- Fallavier P. et Egouménidès C., 1975. A new automated spectrophotometric determination of nitrogen in soils. In *Euroanalysis II - Second European Conference on analytical chemistry*, 25-30 August 1975, Budapest, Hongrie.

FAO/AQUASTAT, 1999. Système d'information sur l'eau et le développement agricole et rural.

In <http://www.fao.org/waicent/FaoInfo/Agricult/AGL/AGLW/aquastat/aquastaF.htm>
Division de la Mise en Valeur des Terres et des Eaux (eds.) : F.A.O.

FAO/FAOSTAT, 1998. Agriculture - Utilisation des terres (dernière à jour : 22 mai 1998). In <http://apps.fao.org/cgi-bin/nph-db.pl?subset=agriculture>(eds.) : F.A.O.

FAO/FAOSTAT, 1999. Agriculture - Cultures primaires (dernière mise à jour : 17 février 1999). In <http://apps.fao.org/cgi-bin/nph-db.pl?subset=agriculture>(eds.) : F.A.O.

FAO/SMIAR, 1997. Système de prévention d'urgence contre les ravageurs et maladies transfrontaliers des animaux et des plantes. In <http://www.fao.org/giews/french/smiar.htm>(eds.) : F.A.O.

Fardoux J., Fernandes P., Badiane A. et Chotte J.-L., 1999. Etude comparative de deux méthodes biocidales de détermination de la biomasse microbienne du sol. Effet du séchage de l'échantillon. *Etude et Gestion des Sols* à paraître.

Feller C. et Beare M. H., 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma* (79) : 69-116.

Feller C., Fritsch E., Poss R. et Valentin C., 1991. Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques (Afrique de l'Ouest, en particulier). *Les Cahiers de l'ORSTOM-Série Pédologie* 26 (1) : 25-36.

Feodoroff A. et Betremieux R., 1964. Une méthode de laboratoire pour la détermination de la capacité au champ. In *Comptes-Rendus du VII^{ème} Congrès International de Science du Sol*, Bucarest, Roumanie.

Fernandes E.C.M., Motavalli P.P., Castilla C. et Mukurumbira L., 1997. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. *Geoderma* (79) : 49-67.

- Franzluebbers A.J., Hons F.M. et Zuberer D.A., 1994. Seasonal changes in soil microbial biomass and mineralisable C and N in wheat management systems. *Soil Biology and Biochemistry* 26 : 1469-1475.
- Friedel J.K., Munch J.C. et Fischer W.R., 1996. Soil microbial properties and the assessment of available soil organic matter in a haplic luvisol after several years of different cultivation and crop rotation. *Soil Biology and Biochemistry* 28 : 479-488.
- Ganry F. et Cissé L., 1994. L'amendement organique des sols sableux : une assurance contre les préjudices de la sécheresse, cas de Thilmakha (isohyète 300 mm). In *Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale*, 9-13/12/1991, Bamako (Mali).
- Ganry F. et 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*, 313-331, AIEA (eds.). Vienne, Autriche .
- Greenland D.J., 1975. Bringing the green revolution to the shifting cultivator. *Science* (190) : 841-844.
- Guillemat J., Montegut J., 1956. Contribution à l'étude de la microflore fongique des sols cultivés. *Annales Epiphyties*, 3 : 471-540.
- Guillemat J., Montegut J., 1957. Deuxième contribution à l'étude de la microflore fongique des sols cultivés. *Annales Epiphyties*, 2 : 229-251.
- Guillemat J., Montegut J., 1958. Troisième contribution à l'étude de la microflore fongique des sols cultivés. *Annales Epiphyties*, 1 : 27-54.
- Guiraud G., 1984. Contribution du marquage isotopique à l'évaluation des transferts d'azote entre les compartiments organiques et minéraux dans les systèmes sol-plante. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Pierre et Marie Curie Paris VI, 335p.
- Guiraud G., 1987. Apport du traçage isotopique à la connaissance d'azote dans les systèmes sol-plantes. *Perspectives Agricoles* (115) : 25-32.

- Handayanto E., Cadish G. et Giller K.E., 1997. Regulating N mineralization from plant residues by manipulation of quality. In *Driven by nature - Plant litter quality and decomposition*, 175-186, Cadish G. and K.E. Giller (eds.). Oxon, Grande-Bretagne : CAB International.
- Harmand J.-M., 1997. Rôle des espèces ligneuses à croissance rapide dans le fonctionnement biogéochimique de la jachère. Effet sur la restauration de la fertilité des sols ferrugineux tropicaux (Bassin de la Bénoué au Nord-Cameroun);, Université Paris VI, 213 p.
- Insam H., Parkinson D. et Domsch K.H., 1989. Influence of macroclimate on soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry* 21 : 211-221.
- ISSS Working Group RB, ed. 1998. *World Reference Base for Soil Resources, Atlas*. Batjes N.H. and Nachtergaele F.O. E.M. Bridges. 79p vols. Leuven, Belgique : ISRIC-FAO-ISSS-Acco.
- Jenkinson D. S. et Powlson D. S., 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil - V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry* 8 : 209-213.
- Kandeler E., Tscherko D. et Spiegel H., 1999. Long-term monitoring of microbial biomass, N mineralisation and enzyme activities of a Chernozem under different tillage management. *Biology and Fertility of Soils* 28 : 343-351.
- Kumwenda J.D.T., Waddington S.R., Snapp S.R., Jones R.B. et Blackie M., 1996. *Soil fertility management research for the maize cropping systems of smallholders in Southern Africa : a review, NRG Paper 96-02*. Mexico, Mexique : CIMMYT, 36 p.
- Lavelle P., 1990. Contribution des processus biologiques. In *Agronomie et ressources naturelles en régions tropicales*, Montpellier, France.

- Lemaire G., Gastal F., Plenet D. et Le Bot J., 1996. Le prélèvement d'azote par les peuplements végétaux et la production des cultures. In *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*, Reims, France.
- Mafongoya P., Dzowela B.H. et Nair P.K., 1997. Effects of multipurpose trees, age of cutting and drying method on pruning quality. In *Driven by nature - Plant litter quality and decomposition*, 167-174, Cadish G. and K.E. Killer (eds.) Oxon, Grande-Bretagne : CAB International.
- Maignien R., 1965. Notice explicative - Carte pédologique du Sénégal en 1/1 000 000. Dakar, Sénégal.
- Martens R., 1995. Current methods for measuring microbial biomass C in soil : potentials and limitations. *Biology and Fertility of Soils* 19 : 87-99.
- Martin C., 1997. Etude du déterminisme de la nitrification - Cas des sols ferrugineux tropicaux cultivés de la zone sud-soudanienne du Burkina-Faso. Nancy, France: Rapport de DEA/ENSAIA.
- Marumoto T., 1984. Mineralization of C and N from microbial biomass in paddy soil. *Plant and Soil* (76) : 165-173.
- Mary B., Recous S. et Robin T., 1998. A model for calculating nitrogen fluxes in soil using ¹⁵N tracing. *Soil Biology and Biochemistry* 30 (14) : 1963-1979.
- McGill W.B., Cannon K.R., Robertson J.A. et Cook F.D., 1986. Dynamics of soil microbial biomass and water-soluble organic C in Breton L after 5 years of cropping of two rotations. *Canadian Journal of Soil Science* 66 : 1-19.
- Morel R., 1989. Les sols cultivés. Lavoisier TEC&DOC, Paris (France), 380p.
- Ndiaye M., 1997. Contribution des légumineuses arbustives à l'alimentation azotée du maïs (*Zea mays*, L.) : cas d'un système de culture en allées dans le Centre-Sud Sénégal. Doctorat de l'INPL, Sciences Agronomiques, INPL-ENSAIA, Nancy, France, 136 p.

- Nicolardot B., Chaussod R. et Catroux G., 1982. Revue des principales méthodes disponibles pour mesurer la biomasse microbienne et ses activités. *Bulletin de l'AFES - Science du sol* (4) : 253-262.
- Ocio J.A. et Brookes P.C., 1990. An evaluation of methods for measuring the microbial biomass in soils following recent additions of wheat straw and the characterization of the biomass that develops. *Soil Biology and Biochemistry* 22 (5) : 685-694.
- Ohlinger R., 1995. Ninhydrin-reactive N by fumigation-extraction technique. In *Methods in soil biology*, 60-62, Schinner F., *et al.* (eds.) Berlin, Allemagne : Springer-Verlag.
- Orsini L., Rémy J.C., 1976. Utilisation du chlorure de cobaltihexamine pour la détermination simultanée de la capacité d'échange et des bases échangeables des sols. *Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Sol*, 4 : 269-275.
- Pankhurst C.E., Doube B.M. et Gupta V.V.S.R., 1997. Biological indicators of soil health : synthesis. In *Biological indicators of soil health*, 419-435, Pankhurst C.E., Doube B.M. et Gupta V.V.S.R. (eds.) Oxon, Grande-Bretagne : CAB International.
- Perez P., Boscher C. et Sène M., 1996. Une meilleure gestion de l'eau pluviale par les techniques culturales (Sud du Sine-Saloum, Sénégal). *Agriculture et Développement* 3 (9) : 20-29.
- Pichot J. et Al Zahawe F., 1977. Evolution d'un sol ferrallitique de Côte d'Ivoire après la mise en culture - Effet des apports d'engrais azoté et de compost. In *Soil organic matter studies - Proceedings of a symposium*, 83-96, (eds.) Braunschweig : IAEA - FAO - Agrochimica.
- Pieri C., 1991. Les bases agronomiques de l'amélioration et du maintien de la fertilité des terres de savanes au sud du Sahara. In *Savanes d'Afrique, terres fertiles ?*, 43-73, (eds.) : Ministère de la Coopération et du Développement - Cirad.

- Pieri C., 1995. Long-term soil management experiments in semiarid francophone Africa. In *Advances in soil science : soil management ; experimental basis for sustainability and environmental quality*, 225-266, Lal R. et Stewart B.A. (eds.) : CRC Press.
- Powlson D.S., Brookes P.C. et Christensen B.T., 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry* 19 : 159-164.
- Rasmussen P.E., Collins H.P. et Smiley R.W., 1989. *Long-term management effects on soil productivity and crop yield in semi-arid regions of eastern Oregon*. Columbia Basin Ag. Res. Ctr., *Stat. Bull.* 675. Pendleton (OR), Etats-Unis : USDA-ARS and Oregon State University,
- Sanchez P. et Logan T.J., 1992. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In *Myths and science of soils in the tropics*, 18-46, ISSS (eds.) .
- Schimel J., 1996. Assumptions and errors in the $^{15}\text{NH}_4^+$ pool dilution technique for measuring mineralization and immobilization. *Soil Biology and Biochemistry* 28 (6) : 827-828.
- Schnürer J., Clarholm M. et Rosswall T., 1985. Microbial biomass and activity in an agricultural soil with different organic matter contents. *Soil Biology and Biochemistry* 17 : 611-618.
- Sène M. et Pérez P., 1994. Contraintes et possibilités de valorisation des ressources naturelles dans le sud du bassin arachidier (Sine Saloum, Sénégal). In Reyniers T.N. et Netoyo L. (eds.) *Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale*, décembre 1991, Bamako (Mali).
- Siband P., 1974. Evolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. *L'Agronomie Tropicale* (2) : 1228-1248.

- Singer M.J. et Munns D.N., 1996. *Soils - An introduction*. Upper Saddle River (NJ), Etats-Unis : Prentice Hall, 480 p.
- Smith J.L., 1994. Cycling of nitrogen through microbial activity. In *Advances in Soil Science - Soil biology : effects on soil quality*, 91-120, Hattfield J.L. et Steward B.A. (eds.) .
- Smith J.L. et Paul E.A., 1990. The significance of microbial biomass estimations. In *Soil biochemistry*, 357-396, Bollag J.M. et Stotzky G. (eds.) New York, Etats-Unis : Marcel Dekker.
- Sparling G.P., 1997. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In *Biological indicators of soil health*, 437 p, Pankhurst C.E., Doube B.M. et Gupta V.V.S.R. (eds.) Oxon, Grande-Bretagne : CAB International.
- Stenger R., Priesack E. et Beese F., 1996. *In situ* studies of soil mineral N fluxes: some comments on the applicability of the sequential soil coring method in arable soils. *Plant and Soil* (183) : 199-211.
- Swift M.J., 1996. Sustainable management of the soil resource : developing a framework for research and development. In *Sustainable agriculture : from vision to action. Proceedings of the 16th annual World Bank Agricultural symposium (à paraître)*.
- Swift M.J., 1998. Ten years of soil biology and fertility research : where next ? In *Carbon and nutrient dynamics in natural and agricultural tropical ecosystems*, 303-312, Bergström L. et Kirchmann H. (eds.) Oxon, Grande-Bretagne : CAB International.
- Taonda S. J.-B., Bertrand R., Dickey J., Morel J.-L. et Sanon K., 1995. Dégradation des sols en agriculture minière au Burkina Faso. *Les Cahiers Agricultures* (4) : 363-369.
- Tiessen H. et Shang C., 1998. Organic-matter turnover in tropical land-use systems. In *Carbon and nutrient dynamics in natural and agricultural tropical ecosystems*, 1-14, Bergström L. et Kirchmann H. (eds.) : CAB International.

- Trehan S.P., 1996. Immobilisation of $^{15}\text{NH}_4^+$ in three soils by chemical and biological processes. *Soil Biology and Biochemistry* 28 (8) : 1021-1027.
- Vance E.D., Brookes P.C. et Jenkinson D.S., 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* (6) : 703-707.
- Villenave, C., P. Fernandes, A. Badiane, M. Sène, P. Perez, F. Ganry et R. Oliver, 1998. Influence of tillage and compost on communities of phytoparasitic nematodes. In *XVIème Congrès Mondial de Science du Sol*, Montpellier, France.
- Voroney R. P. et P.E. A., 1984. Determination of K_C and K_N *in situ* for calibration of the chloroform fumigation-incubation method. *Soil Biology and Biochemistry* 16 (1) : 9-14.

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 :** Caractéristiques physico-chimiques des parcelles de l'essai « courbe de réponse à la matière organique » de la station de Bambey, avant subdivision, juin 1996.
- Annexe 2 :** Caractéristiques physico-chimiques des parcelles de l'essai « courbe de réponse à la matière organique » pérenne de la station de Bambey, avant subdivision, juin 1996. Comparaison des lots de 3 blocs utilisés en 1996 et 1997.
- Annexe 3 :** Caractéristiques physico-chimiques des parcelles de l'essai « courbe de réponse à la matière organique » pérenne de la station de Bambey à la clôture de l'essai (décembre 1997).
- Annexe 4 :** Caractéristiques physico-chimiques des parcelles de l'essai RMO annuel de la station de Bambey, avant campagne et à la clôture de l'essai (juin et décembre 1997).
- Annexe 5 :** Densité apparente sèche (d_a) mesurée à la sonde Gamma de surface (Troxler 3440) sur l'essai RMO de Bambey le 24 octobre 1996.
- Annexe 6 :** Production végétale relevée sur l'ensemble des traitements de l'essai RMO pérenne de Bambey de 1992 à 1997 - Rotation mil-arachide.
- Annexe 7 a :** Production et exportations minérales relevées lors de la récolte de mil des placettes de prélèvements de sol sur l'essai RMO de Bambey en 1996.
- b** Production et exportations minérales relevées sur les placettes de prélèvements de sol lors de la récolte d'arachide sur l'essai RMO de Bambey en 1997.
- Annexe 8 :** Données de base de la détermination de la nitrification brute *in situ* sur le dispositif de Thyssé-Kaymor (campagne 1996).
- Annexe 9 :** Biomasse microbienne et nitrification apparente de l'essai principal RMO en 1996 et 1997, et de l'essai annexe en 1997, station de Bambey - Horizon 0-10 cm.
- Annexe 10 :** Identification des placettes en milieu paysan, étiquettes utilisées et coordonnées géographiques des champs étudiés.
- Annexe 11 :** Caractéristiques physico-chimiques des sols de la campagne d'essais en milieu paysan (1997), zone de Nioro - Horizon 0-10 cm.
- Annexe 12 :** Caractéristiques physico-chimiques des sols de la campagne d'essais en milieu paysan (1997), zone de Bambey - Horizon 0-10 cm.
- Annexe 13 :** Analyse des différents fumiers et composts provenant du milieu paysan et de la station de Bambey.
- Annexe 14 :** Quantités d'éléments apportés à l'ha par les fumiers épandus en milieu paysan.
- Annexe 15 :** Données culturales collectées au stade fin montaison-début épiaison et à la récolte lors de la campagne d'essais en milieu paysan (1997), zone de Nioro.
- Annexe 16 :** Données culturales collectées à la récolte lors de la campagne d'essais en milieu paysan (1997), zone de Bambey.
- Annexe 17 :** Matrice des corrélations pour l'ensemble des variables étudiées des placettes témoins, zone de Nioro.
- Annexe 18 :** Matrice des corrélations pour l'ensemble des variables étudiées des placettes témoins, zone de Bambey.
- Annexe 19 :** Caractéristiques biologiques des sols lors de la campagne d'essais en milieu paysan (1997), zone de Nioro - Horizon 0-10 cm.
- Annexe 20 :** Caractéristiques biologiques des sols lors de la campagne d'essais en milieu paysan (1997), zone de Bambey - Horizon 0-10 cm.

Annexe 1 : Caractéristiques physico-chimiques des parcelles de l'essai RMO pérenne de la station de Bambey, avant subdivision, juin 1996.

Placette et bloc	Horizon cm	Granulométrie (%)			Matière organique		Passimilable mg kg ⁻¹	Complexe d'échange (cmol kg ⁻¹)											pH	
		Argiles 0-2 µm	Limons fins 2-20 µm	Sables 20-2000 µm	Ct % %	Nt mg kg ⁻¹		Ca	Mg	K	Na	Mn	Al	H	pHcob	S	CEC	pHKCl	pHeau	
C0-1	0-10	3,5	2,1	94,4	0,18	205	37,39	0,57	0,21	0,07	0,01	0,02	0,07	0,05	4,57	0,86	0,91	3,80	5,15	
C0-1	10-20	7,8	2,5	89,7	0,16	196	27,86	0,58	0,21	0,10	0,04	0,02	0,09	0,05	4,64	0,93	1,07	3,80	5,10	
C0-1	20-30	12,1	1,5	86,3	0,14	140	15,62	0,84	0,31	0,05	0,05	0,04	0,19	0,08	4,41	1,24	1,47	3,90	5,30	
C0-1	30-40	10,0	2,2	87,8	0,16	140												3,95	5,40	
C0-1	40-80	15,6	2,5	81,9	0,14	112												4,00	5,50	
C0-1	80-120	18,1	3,1	78,8	0,12	93												4,15	5,60	
C4-1	0-10	2,9	2,8	94,3	0,22	233	40,20	0,70	0,34	0,06	0,01	0,02	0,04	0,04	4,67	1,12	1,20	4,00	5,20	
C4-1	10-20	5,7	2,5	91,9	0,17	177	28,65	0,55	0,31	0,05	0,01	0,01	0,18	0,08	4,42	0,92	1,14	3,80	5,10	
C4-1	20-30	8,9	1,8	89,2	0,15	149	16,42	0,80	0,32	0,08	0,10	0,04	0,21	0,09	4,36	1,30	1,54	3,90	5,20	
C4-1	30-40	9,8	2,1	88,1	0,17	140												3,95	5,40	
C4-1	40-80	15,7	0,3	84,0	0,14	112												4,10	5,00	
C4-1	80-120	20,1	1,8	78,1	0,11	103												4,20	5,65	
C0-2	0-10	4,4	1,8	93,7	0,16	168	36,12	0,44	0,16	0,08	0,01	0,02	0,07	0,05	4,56	0,70	0,80	3,85	5,20	
C0-2	10-20	6,2	3,3	90,5	0,13	140	26,44	0,55	0,19	0,05	0,01	0,02	0,11	0,06	4,49	0,80	1,11	3,90	5,25	
C0-2	20-30	9,4	2,5	88,1	0,13	131	20,82	0,64	0,22	0,06	0,01	0,02	0,17	0,08	4,39	0,93	1,17	3,90	4,85	
C0-2	30-40	11,8	3,9	84,3	0,15	131												3,90	5,30	
C0-2	40-80	16,6	3,0	80,4	0,14	112												4,10	5,55	
C0-2	80-120	22,0	2,8	75,2	0,12	84												4,40	5,85	
C4-2	0-10	2,5	1,9	95,7	0,21	205	39,01	0,71	0,36	0,08	0,01	0,02	0,01	0,03	4,88	1,15	1,23	4,35	5,55	
C4-2	10-20	3,4	1,5	95,1	0,14	140	31,64	0,52	0,31	0,07	0,00	0,01	0,11	0,07	4,48	0,91	1,21	3,95	5,30	
C4-2	20-30	6,1	1,2	92,6	0,14	140	17,85	0,71	0,31	0,09	0,01	0,03	0,20	0,09	4,34	1,13	1,58	3,95	5,20	
C4-2	30-40	5,0	2,5	92,6	0,13	131												4,00	5,40	
C4-2	40-80	4,8	0,9	94,3	0,13	121												4,05	5,45	
C4-2	80-120	4,6	1,8	93,6	0,13	103												4,45	5,80	
C0-3	0-10	1,9	1,6	96,5	0,15	168	34,06	0,38	0,14	0,06	0,01	0,02	0,10	0,07	4,47	0,59	0,86	3,85	5,00	
C0-3	10-20	4,3	1,2	94,5	0,14	140	21,40	0,41	0,15	0,05	0,01	0,01	0,24	0,09	4,35	0,62	1,12	3,85	5,00	
C0-3	20-30	4,7	0,9	94,4	0,14	140	16,51	0,44	0,16	0,05	0,01	0,01	0,39	0,11	4,25	0,66	1,20	3,90	5,00	
C0-3	30-40	6,2	1,2	92,6	0,14	121												3,90	5,05	
C0-3	40-80	4,3	1,8	93,9	0,12	103												3,85	5,10	
C0-3	80-120	4,3	1,5	94,2	0,10	65												3,95	4,80	
C4-3	0-10	2,5	1,5	96,0	0,19	196	36,90	0,65	0,31	0,08	0,01	0,02	0,00	0,06	4,49	1,04	1,07	4,25	5,45	
C4-3	10-20	3,8	1,6	94,7	0,13	187	35,05	0,46	0,27	0,06	0,01	0,01	0,11	0,02	5,07	0,80	1,06	3,90	5,15	
C4-3	20-30	6,4	1,8	91,7	0,15	149	17,44	0,43	0,25	0,08	0,01	0,01	0,47	0,12	4,23	0,77	1,50	3,85	5,10	
C4-3	30-40	6,5	1,5	92,0	0,14	140												3,85	5,10	
C4-3	40-80	5,9	1,5	92,6	0,13	112												3,85	5,05	
C4-3	80-120	5,6	0,6	93,8	0,13	93												4,00	5,30	

Annexe 1 : Caractéristiques physico-chimiques des parcelles de l'essai RMO pérenne de la station de Bambej, avant subdivision, juin 1996.

Placette et bloc	Horizon cm	Granulométrie			Matière organique		Passimilable mg kg ⁻¹	Complexe d'échange (cmol kg ⁻¹)										pH	
		Argiles 0-2 µm	Limons fins 2-20 µm	Sables 20-2000 µm	C %	Nt mg kg ⁻¹		Ca	Mg	K	Na	Mn	Al	H	pHcob	S	CEC	PHKCl	pHeau
C0-4	0-10	3,0	1,5	95,4	0,14	159	26,43	0,47	0,16	0,06	0,01	0,02	0,09	0,05	4,56	0,70	0,91	3,90	5,10
C0-4	10-20	5,0	1,6	93,5	0,14	131	18,34	0,55	0,20	0,05	0,02	0,01	0,28	0,08	4,39	0,82	1,27	3,85	5,10
C0-4	20-30	7,1	0,9	91,9	0,14	121	12,68	0,65	0,25	0,05	0,01	0,02	0,44	0,10	4,31	0,96	1,62	3,90	5,25
C0-4	30-40	7,0	1,6	91,4	0,13	112												3,90	5,20
C0-4	40-80	5,7	2,1	92,2	0,11	103												3,90	5,25
C0-4	80-120	5,0	1,2	93,7	0,09	84												4,05	5,45
C4-4	0-10	2,5	1,6	95,9	0,18	224	32,54	0,62	0,29	0,08	0,01	0,02	0,02	0,03	4,82	0,99	1,07	4,25	5,45
C4-4	10-20	4,3	1,3	94,4	0,15	159	30,35	0,56	0,29	0,08	0,01	0,02	0,04	0,04	4,69	0,94	1,08	4,05	5,35
C4-4	20-30	4,9	1,5	93,5	0,14	121	16,78	0,53	0,25	0,09	0,00	0,02	0,22	0,08	4,38	0,87	1,16	3,95	5,30
C4-4	30-40	5,9	0,9	93,2	0,14	121												3,95	5,25
C4-4	40-80	4,9	1,8	93,2	0,12	103												3,90	5,20
C4-4	80-120	3,6	1,2	95,2	0,09	75												4,10	5,45
C0-5	0-10	3,7	1,2	95,1	0,14	159	27,36	0,46	0,14	0,06	0,01	0,02	0,07	0,06	4,55	0,68	0,74	3,90	5,25
C0-5	10-20	3,6	1,2	95,2	0,13	140	24,22	0,43	0,14	0,05	0,01	0,01	0,14	0,06	4,50	0,62	0,75	3,90	5,20
C0-5	20-30	5,2	2,1	92,7	0,16	140	16,93	0,47	0,16	0,05	0,00	0,01	0,36	0,10	4,32	0,69	1,20	3,85	5,20
C0-5	30-40	5,8	2,1	92,0	0,13	131												3,85	5,15
C0-5	40-80	5,3	1,2	93,5	0,11	93												3,85	5,05
C0-5	80-120	3,4	1,9	94,7	0,07	65												3,95	5,25
C4-5	0-10	3,1	1,5	95,4	0,18	196	29,79	0,67	0,34	0,06	0,01	0,02	0,00	0,03	4,90	1,08	1,07	4,40	5,55
C4-5	10-20	4,4	1,6	94,0	0,14	149	30,67	0,50	0,30	0,07	0,01	0,01	0,09	0,06	4,52	0,87	0,98	3,90	5,20
C4-5	20-30	5,4	1,2	93,5	0,15	149	18,82	0,49	0,25	0,08	0,01	0,01	0,29	0,09	4,34	0,82	1,25	3,85	5,20
C4-5	30-40	5,5	1,8	92,7	0,12	131												3,90	5,25
C4-5	40-80	5,9	1,2	92,9	0,11	93												3,85	5,15
C4-5	80-120	6,1	1,5	92,4	0,08	75												4,00	5,35
C0-6	0-10	4,6	2,1	93,3	0,17	177	32,67	0,59	0,22	0,08	0,01	0,03	0,07	0,06	4,51	0,89	1,06	3,85	5,15
C0-6	10-20	6,1	1,2	92,7	0,14	140	19,41	0,47	0,22	0,06	0,01	0,01	0,07	0,07	4,46	0,76	1,05	3,90	5,20
C0-6	20-30	6,4	1,5	92,0	0,14	140	15,50	0,55	0,24	0,08	0,00	0,02	0,14	0,08	4,38	0,87	1,23	3,85	5,25
C0-6	30-40	7,4	0,9	91,7	0,13	140												3,90	5,25
C0-6	40-80	4,8	2,2	93,1	0,09	121												3,85	5,20
C0-6	80-120	4,7	0,9	94,4	0,10	75												4,00	5,45
C4-6	0-10	3,8	0,9	95,3	0,19	205	31,48	0,82	0,32	0,09	0,01	0,02	0,00	0,02	5,02	1,23	1,10	4,60	5,65
C4-6	10-20	2,6	1,9	95,5	0,13	140	33,01	0,66	0,33	0,06	0,00	0,01	0,01	0,03	4,84	1,06	1,09	4,25	5,60
C4-6	20-30	4,1	0,9	95,0	0,15	140	23,21	0,94	0,35	0,08	0,01	0,02	0,01	0,03	4,80	1,38	1,41	4,25	5,60
C4-6	30-40	5,1	1,5	93,4	0,14	131												4,10	5,55
C4-6	40-80	3,5	0,6	95,8	0,11	93												4,20	5,60
C4-6	80-120	4,1	0,6	95,3	0,07	75												4,70	5,95

Annexe 1 : Caractéristiques physico-chimiques des parcelles de l'essai RMO pérenne de la station de Bambej, avant subdivision, juin 1996.

Placette et bloc	Horizon cm	Granulométrie			Matière organique		Passimilable mg kg ⁻¹	Complexe d'échange (cmol kg ⁻¹)										pH	
		Argiles	Limons fins	Sables	C	Nt		Ca	Mg	K	Na	Mn	Al	H	pHcob	S	CEC	PHKCl	pHeau
		0-2 µm	2-20 µm	20-2000 µm	%	mg kg ⁻¹													
F0-1	0-10	2,9	0,9	96,1	0,15	168	37,17	0,40	0,14	0,07	0,00	0,02	0,11	0,07	4,45	0,61	0,83	3,80	5,00
F0-1	10-20	6,6	0,6	92,8	0,13	131	27,52	0,52	0,18	0,05	0,01	0,02	0,24	0,09	4,37	0,76	1,23	3,80	5,10
F0-1	20-30	5,3	1,8	92,9	0,14	131	18,07	0,57	0,20	0,04	0,01	0,03	0,27	0,09	4,36	0,83	1,29	3,85	5,15
F0-1	30-40	5,4	1,6	93,0	0,14	131												3,85	5,15
F0-1	40-80	5,2	1,3	93,5	0,12	121												3,90	5,30
F0-1	80-120	6,3	0,9	92,8	0,12	112												4,30	5,75
F4-1	0-10	4,0	3,3	92,7	0,19	187	42,19	0,59	0,25	0,08	0,01	0,01	0,03	0,04	4,67	0,92	1,08	4,00	5,25
F4-1	10-20	4,2	2,2	93,6	0,15	168	19,53	0,57	0,27	0,08	0,01	0,01	0,38	0,11	4,25	0,92	1,45	3,80	5,10
F4-1	20-30	6,7	1,3	92,0	0,14	140	17,49	0,57	0,23	0,06	0,00	0,02	0,44	0,11	4,25	0,86	1,59	3,85	5,05
F4-1	30-40	6,0	1,5	92,4	0,13	131												3,85	5,00
F4-1	40-80	6,2	1,8	91,9	0,11	121												4,35	5,85
F0-2	0-10	2,6	0,9	96,4	0,15	177	36,28	0,47	0,15	0,07	0,01	0,02	0,06	0,05	4,59	0,69	0,81	3,95	5,05
F0-2	10-20	6,2	2,1	91,7	0,14	159	16,86	0,58	0,19	0,06	0,01	0,01	0,28	0,09	4,35	0,84	1,23	3,85	5,05
F0-2	20-30	7,4	1,8	90,8	0,16	131	21,82	0,46	0,17	0,05	0,00	0,01	0,47	0,11	4,26	0,68	1,40	3,90	5,15
F0-2	30-40	7,3	1,8	90,9	0,13	112												3,90	5,05
F0-2	40-80	4,5	1,2	94,3	0,13	103												3,85	5,00
F0-2	80-120	6,1	0,6	93,3	0,09	84												3,95	5,20
F4-2	0-10	3,2	0,6	96,2	0,16	140	35,63	0,51	0,20	0,08	0,00	0,01	0,01	0,03	4,90	0,80	0,79	4,15	5,40
F4-2	10-20	4,4	1,2	94,4	0,12	112	21,53	0,50	0,21	0,10	0,01	0,03	0,08	0,06	4,54	0,81	1,01	4,00	5,40
F4-2	20-30	5,8	2,1	92,1	0,12	112	22,99	0,50	0,21	0,09	0,00	0,03	0,10	0,06	4,49	0,80	0,99	4,00	5,40
F4-2	30-40	5,0	1,2	93,8	0,12	112												4,15	5,55
F4-2	40-80	5,3	1,5	93,2	0,13	112												3,95	5,30
F4-2	80-120	5,7	0,3	94,0	0,12	84												4,30	5,55
F0-3	0-10	2,9	0,6	96,5	0,16	168	36,46	0,41	0,14	0,07	0,00	0,02	0,06	0,05	4,58	0,62	0,68	3,95	5,20
F0-3	10-20	4,4	1,5	94,1	0,12	140	25,78	0,48	0,17	0,05	0,01	0,01	0,18	0,08	4,41	0,70	0,88	3,95	5,25
F0-3	20-30	5,9	1,8	92,3	0,12	121	15,26	0,54	0,19	0,05	0,01	0,02	0,33	0,10	4,31	0,80	1,23	3,95	5,25
F0-3	30-40	5,1	2,2	92,7	0,13	121												3,95	5,15
F0-3	40-80	5,3	1,5	93,1	0,11	103												3,95	5,25
F0-3	80-120	5,3	0,9	93,8	0,10	84												4,10	5,35
F4-3	0-10	2,4	1,9	95,7	0,18	177	30,28	0,66	0,24	0,07	0,00	0,02	0,01	0,03	4,85	0,97	1,03	4,35	5,60
F4-3	10-20	2,9	2,1	95,0	0,12	131	27,63	0,62	0,27	0,06	0,00	0,02	0,03	0,04	4,69	0,96	1,05	4,10	5,45
F4-3	20-30	4,4	1,5	94,1	0,12	112	18,25	0,72	0,28	0,07	0,01	0,03	0,02	0,03	4,85	1,08	1,13	4,15	5,50
F4-3	30-40	4,8	1,5	93,7	0,13	112												4,20	5,25
F4-3	40-80	4,6	1,2	94,2	0,12	93												4,20	5,65
F4-3	80-120	4,7	0,6	94,7	0,10	75												4,50	5,90

Annexe 1 : Caractéristiques physico-chimiques des parcelles de l'essai RMO pérenne de la station de Bambey, avant subdivision, juin 1996.

Placette et bloc	Horizon cm	Granulométrie			Matière organique		Passimilable mg kg ⁻¹	Complexe d'échange (cmol kg ⁻¹)										pH	
		Argiles	Limons fins	Sables	C	Nt		Ca	Mg	K	Na	Mn	Al	H	pHcob	S	CEC	PHKCl	pHeau
		0-2 µm	2-20 µm	20-2000 µm	%	mg kg ⁻¹													
F0-4	0-10	2,8	2,4	94,8	0,14	168	27,88	0,53	0,18	0,06	0,01	0,03	0,04	0,05	4,56	0,77	0,93	4,00	5,25
F0-4	10-20	3,8	0,6	95,6	0,12	140	19,22	0,60	0,22	0,05	0,00	0,02	0,09	0,07	4,45	0,86	1,09	4,00	5,30
F0-4	20-30	4,9	1,5	93,6	0,13	121	16,72	0,73	0,28	0,05	0,00	0,02	0,14	0,08	4,38	1,06	1,39	4,00	5,40
F0-4	30-40	4,7	1,5	93,8	0,12	112												4,00	5,40
F0-4	40-80	5,9	0,9	93,2	0,12	112												4,05	5,40
F0-4	80-120	4,4	0,3	95,3	0,10	84												4,15	5,50
F4-4	0-10	3,8	0,6	95,6	0,16	187	33,80	0,74	0,22	0,09	0,00	0,02	0,00	0,01	5,20	1,06	1,03	4,40	5,80
F4-4	10-20	3,4	1,5	95,1	0,13	131	34,42	0,47	0,24	0,06	0,00	0,01	0,06	0,06	4,53	0,77	1,00	4,05	5,45
F4-4	20-30	4,7	1,5	93,8	0,13	121	20,67	0,54	0,25	0,09	0,00	0,02	0,11	0,07	4,48	0,89	1,15	4,05	5,50
F4-4	30-40	3,5	2,4	94,1	0,14	131												4,05	5,50
F4-4	40-80	5,1	0,9	94,0	0,15	121												7,40	7,70
F4-4	80-120	4,3	1,5	94,2	0,12	93												7,40	8,10
F0-5	0-10	4,0	1,2	94,9	0,15	177	31,29	0,84	0,27	0,06	0,00	0,02	0,00	0,06	4,55	1,17	1,27	4,05	5,05
F0-5	10-20	4,4	0,9	94,7	0,12	140	24,22	0,70	0,31	0,05	0,01	0,01	0,00	0,06	4,51	1,07	1,15	4,05	5,35
F0-5	20-30	5,3	1,2	93,5	0,14	140	16,67	0,73	0,29	0,08	0,01	0,02	0,02	0,08	4,42	1,11	1,28	4,05	5,45
F0-5	30-40	6,5	1,8	91,7	0,13	131												4,05	5,45
F0-5	40-80	4,0	1,9	94,1	0,12	121												4,30	5,35
F0-5	80-120	7,0	1,2	91,8	0,11	103												4,70	6,25
F4-5	0-10	4,1	1,2	94,7	0,21	196	26,98	0,82	0,28	0,07	0,00	0,03	0,00	0,02	4,97	1,17	1,24	4,60	5,80
F4-5	10-20	4,7	1,4	93,9	0,13	140	25,70	0,68	0,31	0,07	0,01	0,01	0,00	0,03	4,88	1,07	1,05	4,45	5,75
F4-5	20-30	4,3	1,5	94,2	0,13	121	18,79	0,69	0,31	0,09	0,01	0,02	0,02	0,03	4,80	1,10	1,20	4,10	5,55
F4-5	30-40	5,3	0,9	93,8	0,14	131												4,10	5,60
F4-5	40-80	3,4	1,2	95,4	0,17	112												4,15	5,60
F4-5	80-120	2,9	1,8	95,3	0,13	84												4,35	5,80
F0-6	0-10	3,2	0,6	96,2	0,11	159	13,70	0,58	0,20	0,07	0,01	0,03	0,05	0,07	4,48	0,86	1,06	3,95	5,15
F0-6	10-20	4,4	0,6	95,0	0,12	131	9,91	0,70	0,27	0,04	0,02	0,02	0,09	0,07	4,47	1,03	1,31	3,95	5,40
F0-6	20-30	5,6	1,2	93,2	0,15	131	12,92	1,06	0,42	0,05	0,01	0,04	0,04	0,05	4,56	1,54	1,84	4,05	5,55
F0-6	30-40	7,2	0,6	92,2	0,15	121												4,10	5,55
F0-6	40-80	8,2	0,9	90,9	0,12	103												4,35	5,95
F0-6	80-120	7,1	1,5	91,4	0,09	93												4,65	6,15
F4-6	0-10	3,5	1,5	95,0	0,11	168	21,07	0,63	0,23	0,09	0,01	0,02	0,00	0,03	4,80	0,96	1,09	4,30	5,55
F4-6	10-20	3,7	0,9	95,4	0,13	121	18,76	0,53	0,26	0,07	0,01	0,01	0,02	0,04	4,72	0,87	1,05	4,15	5,50
F4-6	20-30	3,8	1,2	95,0	0,15	121	30,10	0,68	0,26	0,10	0,02	0,01	0,04	0,04	4,68	1,06	1,31	4,05	5,45
F4-6	30-40	3,8	0,9	95,3	0,11	121												4,05	5,35
F4-6	40-80	4,1	1,5	94,4	0,11	84												4,05	5,45
F4-6	80-120	5,3	1,2	93,5	0,09	75												4,15	5,55

Annexe 2 : Caractéristiques physico-chimiques des parcelles de l'essai RMO pérenne de la station de Bambey, avant subdivision, juin 1996
Comparaison des lots de 3 blocs utilisés en 1996 et 1997.

Placette et blocs	Horizon cm	Granulométrie (%)			Matière organique		Passimilable mg kg ⁻¹	Complexe d'échange (cmol kg ⁻¹)										pH	
		Argiles 0-2 µm	Limons fins 2-20 µm	Sables 20-2000 µm	Ct %	Nt mg kg ⁻¹		Ca	Mg	K	Na	Mn	Al	H	pHcob	S	CEC	pHKCl	pHeau
C0(2-3-6)	0-10 cm	3,6	1,8	94,5	0,16	171	34,28	0,47	0,17	0,07	0,01	0,02	0,08	0,06	4,51	0,73	0,91	3,85	5,12
C0(2-3-6)	10-20 cm	5,5	1,9	92,6	0,14	140	22,42	0,48	0,19	0,05	0,01	0,01	0,14	0,07	4,43	0,73	1,09	3,88	5,15
C0(2-3-6)	20-30 cm	6,8	1,6	91,5	0,14	137	17,61	0,54	0,21	0,06	0,01	0,02	0,23	0,09	4,34	0,82	1,20	3,88	5,03
C0(1-4-5)	0-10 cm	3,4	1,6	95,0	0,15	174	30,39	0,50	0,17	0,06	0,01	0,02	0,08	0,05	4,56	0,75	0,85	3,87	5,17
C0(1-4-5)	10-20 cm	5,5	1,8	92,8	0,14	156	23,47	0,52	0,18	0,07	0,02	0,01	0,17	0,06	4,51	0,79	1,03	3,85	5,13
C0(1-4-5)	20-30 cm	8,1	1,5	90,3	0,15	134	15,08	0,65	0,24	0,05	0,02	0,02	0,33	0,09	4,35	0,96	1,43	3,88	5,25
Ensemble des 6 blocs																			
C0(Moyenne)	0-10 cm	3,5	1,7	94,7	0,16	173	32,34	0,49	0,17	0,07	0,01	0,02	0,08	0,06	4,54	0,74	0,88	3,86	5,14
C0(Moyenne)	10-20 cm	5,5	1,8	92,7	0,14	148	22,95	0,50	0,19	0,06	0,02	0,01	0,16	0,07	4,47	0,76	1,06	3,87	5,14
C0(Moyenne)	20-30 cm	7,5	1,6	90,9	0,14	135	16,34	0,60	0,22	0,06	0,01	0,02	0,28	0,09	4,34	0,89	1,32	3,88	5,14
C0(Ecart moyenne)	0-10 cm	0,7	0,3	0,9	0,01	12	3,63	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,09	0,08	0,03	0,06
C0(Ecart moyenne)	10-20 cm	1,2	0,7	1,7	0,01	16	3,23	0,06	0,03	0,01	0,01	0,00	0,07	0,01	0,07	0,09	0,11	0,03	0,08
C0(Ecart moyenne)	20-30 cm	2,2	0,5	2,5	0,01	6	1,74	0,11	0,04	0,01	0,01	0,01	0,12	0,01	0,05	0,15	0,15	0,02	0,14
C4(1-2-4)	0-10 cm	2,6	2,1	95,3	0,20	221	37,25	0,68	0,33	0,07	0,01	0,02	0,02	0,03	4,79	1,09	1,17	4,20	5,40
C4(1-2-4)	10-20 cm	4,5	1,8	93,8	0,15	159	30,21	0,54	0,30	0,07	0,01	0,01	0,11	0,06	4,53	0,92	1,14	3,93	5,25
C4(1-2-4)	20-30 cm	6,6	1,5	91,8	0,14	137	17,02	0,68	0,29	0,09	0,04	0,03	0,21	0,09	4,36	1,10	1,43	3,93	5,23
C4(3-5-6)	0-10 cm	3,1	1,3	95,6	0,19	199	32,72	0,71	0,32	0,08	0,01	0,02	0,00	0,04	4,80	1,12	1,08	4,42	5,55
C4(3-5-6)	10-20 cm	3,6	1,7	94,7	0,13	159	32,91	0,54	0,30	0,06	0,01	0,01	0,07	0,04	4,81	0,91	1,04	4,02	5,32
C4(3-5-6)	20-30 cm	5,3	1,3	93,4	0,15	146	19,82	0,62	0,28	0,08	0,01	0,01	0,26	0,08	4,46	0,99	1,39	3,98	5,30
Ensemble des 6 blocs																			
C4(Moyenne)	0-10 cm	2,9	1,7	95,4	0,20	210	34,99	0,70	0,33	0,08	0,01	0,02	0,01	0,04	4,80	1,10	1,12	4,31	5,48
C4(Moyenne)	10-20 cm	4,0	1,7	94,3	0,14	159	31,56	0,54	0,30	0,07	0,01	0,01	0,09	0,05	4,67	0,92	1,09	3,98	5,28
C4(Moyenne)	20-30 cm	6,0	1,4	92,6	0,15	142	18,42	0,65	0,29	0,08	0,02	0,02	0,23	0,08	4,41	1,05	1,41	3,96	5,27
C4(Ecart moyenne)	0-10 cm	0,4	0,4	0,4	0,01	12	3,72	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,14	0,07	0,06	0,14	0,11
C4(Ecart moyenne)	10-20 cm	0,8	0,3	0,9	0,01	16	1,67	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,04	0,02	0,20	0,06	0,05	0,12	0,13
C4(Ecart moyenne)	20-30 cm	1,2	0,3	1,4	0,00	8	1,73	0,17	0,04	0,00	0,03	0,01	0,10	0,02	0,13	0,23	0,13	0,10	0,12

Annexe 2 : Caractéristiques physico-chimiques des parcelles de l'essai RMOpérenne de la station de Bambey, avant subdivision, juin 1996.
Comparaison des lots de 3 blocs utilisés en 1996 et 1997.

Placette et blocs	Horizon cm	Granulométrie (%)			Matière organique		Passimilable mg kg ⁻¹	Complexe d'échange (cmol kg ⁻¹)										pH	
		Argiles	Limons fins	Sables	C	Nt		Ca	Mg	K	Na	Mn	Al	H	pHcob	S	CEC	pHKCl	pHeau
		0-2 µm	2-20 µm	20-2000 µm	%	mg kg ⁻¹													
F0(4-5-6)	0-10 cm	3,3	1,4	95,3	0,13	168	24,29	0,65	0,22	0,06	0,01	0,03	0,03	0,06	4,53	0,93	1,09	4,00	5,15
F0(4-5-6)	10-20 cm	4,2	0,7	95,1	0,12	137	17,78	0,67	0,27	0,05	0,01	0,02	0,06	0,07	4,48	0,99	1,18	4,00	5,35
F0(4-5-6)	20-30 cm	5,3	1,3	93,4	0,14	131	15,44	0,84	0,33	0,06	0,01	0,03	0,07	0,07	4,45	1,24	1,50	4,03	5,47
F0(1-2-3)	0-10 cm	2,8	0,8	96,3	0,15	171	36,64	0,43	0,14	0,07	0,00	0,02	0,08	0,06	4,54	0,64	0,77	3,90	5,08
F0(1-2-3)	10-20 cm	5,7	1,4	92,9	0,13	143	23,39	0,53	0,18	0,05	0,01	0,01	0,23	0,09	4,38	0,77	1,11	3,87	5,13
F0(1-2-3)	20-30 cm	6,2	1,8	92,0	0,14	128	18,38	0,52	0,19	0,05	0,01	0,02	0,36	0,10	4,31	0,77	1,31	3,90	5,18
Ensemble des 6 blocs																			
F0(Moyenne)	0-10 cm	3,1	1,1	95,8	0,14	170	30,46	0,54	0,18	0,07	0,01	0,02	0,05	0,06	4,54	0,79	0,93	3,95	5,12
F0(Moyenne)	10-20 cm	5,0	1,1	94,0	0,13	140	20,59	0,60	0,22	0,05	0,01	0,02	0,15	0,08	4,43	0,88	1,15	3,93	5,24
F0(Moyenne)	20-30 cm	5,7	1,6	92,7	0,14	129	16,91	0,68	0,26	0,05	0,01	0,02	0,21	0,09	4,38	1,00	1,41	3,97	5,33
F0(Ecart moyenne)	0-10 cm	0,4	0,5	0,6	0,01	5	6,45	0,11	0,04	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,05	0,15	0,16	0,05	0,08
F0(Ecart moyenne)	10-20 cm	1,0	0,5	1,2	0,01	6	5,26	0,07	0,04	0,00	0,00	0,01	0,09	0,01	0,05	0,12	0,11	0,07	0,11
F0(Ecart moyenne)	20-30 cm	0,6	0,3	0,8	0,01	5	2,02	0,16	0,07	0,01	0,00	0,01	0,15	0,02	0,07	0,23	0,15	0,07	0,14
F4(1-4-6)	0-10 cm	3,8	1,8	94,4	0,15	180	32,35	0,65	0,23	0,09	0,01	0,02	0,01	0,03	4,89	0,98	1,07	4,23	5,53
F4(1-4-6)	10-20 cm	3,8	1,5	94,7	0,14	140	24,24	0,52	0,26	0,07	0,01	0,01	0,15	0,07	4,50	0,85	1,17	4,00	5,35
F4(1-4-6)	20-30 cm	5,1	1,3	93,6	0,14	128	22,75	0,60	0,25	0,08	0,01	0,02	0,20	0,07	4,47	0,94	1,35	3,98	5,33
F4(2-3-5)	0-10 cm	3,2	1,2	95,5	0,18	171	30,96	0,66	0,24	0,07	0,00	0,02	0,01	0,03	4,91	0,98	1,02	4,37	5,60
F4(2-3-5)	10-20 cm	4,0	1,6	94,4	0,12	128	24,95	0,60	0,26	0,08	0,01	0,02	0,04	0,04	4,70	0,95	1,04	4,18	5,53
F4(2-3-5)	20-30 cm	4,8	1,7	93,5	0,12	115	20,01	0,64	0,27	0,08	0,01	0,03	0,05	0,04	4,71	0,99	1,11	4,08	5,48
Ensemble des 6 blocs																			
F4(Moyenne)	0-10 cm	3,5	1,5	95,0	0,17	176	31,66	0,66	0,24	0,08	0,00	0,02	0,01	0,03	4,90	0,98	1,04	4,30	5,57
F4(Moyenne)	10-20 cm	3,9	1,6	94,6	0,13	134	24,60	0,56	0,26	0,07	0,01	0,02	0,10	0,06	4,60	0,90	1,10	4,09	5,44
F4(Moyenne)	20-30 cm	5,0	1,5	93,5	0,13	121	21,38	0,62	0,26	0,08	0,01	0,02	0,12	0,06	4,59	0,97	1,23	4,03	5,41
F4(Ecart moyenne)	0-10 cm	0,5	0,7	0,9	0,03	15	5,55	0,08	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,13	0,09	0,09	0,15	0,17
F4(Ecart moyenne)	10-20 cm	0,6	0,4	0,6	0,01	13	4,66	0,06	0,02	0,01	0,00	0,01	0,10	0,02	0,16	0,08	0,12	0,14	0,13
F4(Ecart moyenne)	20-30 cm	0,9	0,2	1,0	0,01	6	3,44	0,08	0,03	0,01	0,01	0,01	0,11	0,02	0,19	0,12	0,15	0,07	0,12

Annexe 3 : Caractéristiques physico-chimiques des parcelles de l'essai RMO pérenne de la station de Bambey à la clôture de l'essai (décembre 1997).

Placette et bloc	Demi-placette	Horizon cm	Granulométrie (%)			Matière organique		Passimilable mg kg ⁻¹	Complexe d'échange (cmol kg ⁻¹)										pH	
			Argiles 0-2 µm	Limons fins 2-20 µm	Sables 20-2000 µm	Ct %	Nt mg kg ⁻¹		Ca	Mg	K	Na	Mn	Al	H	pHcob	S	CEC	pHKCl	pHeau
C0-1	test	0-10	4,5	2,0	93,6	0,17	215	39,82	0,68	0,22	0,06	0,01	0,02	0,07	0,03	4,84	0,97	1,10	3,85	5,10
C0-1	continu	0-10	3,5	1,3	95,1	0,17	215	33,79	0,55	0,23	0,06	0,01	0,01	0,08	0,03	4,86	0,85	0,96	3,90	5,15
C0-4	test	0-10	4,6	0,3	95,1	0,14	205	27,96	0,47	0,15	0,05	0,01	0,02	0,10	0,04	4,74	0,68	0,84	3,90	5,10
C0-4	continu	0-10	3,8	1,5	94,7	0,15	187	27,35	0,39	0,16	0,05	0,01	0,02	0,10	0,03	4,78	0,60	0,73	3,90	5,15
C0-5	test	0-10	3,9	1,0	95,0	0,15	196	26,07	0,44	0,13	0,05	0,00	0,01	0,09	0,03	4,86	0,62	0,69	3,95	5,10
C0-5	continu	0-10	3,7	1,0	95,3	0,15	205	29,12	0,37	0,10	0,05	0,01	0,02	0,09	0,04	4,75	0,53	0,66	3,95	5,10
C4-3	test	0-10	4,3	0,5	95,1	0,16	215	38,02	0,43	0,20	0,06	0,01	0,01	0,06	0,03	4,82	0,70	0,81	4,00	5,25
C4-3	continu	0-10	3,8	1,3	94,8	0,19	224	38,00	0,49	0,19	0,07	0,00	0,01	0,04	0,02	4,92	0,75	0,91	4,05	5,35
C4-5	test	0-10	4,0	1,0	95,0	0,17	205	27,81	0,49	0,21	0,05	0,00	0,02	0,05	0,03	4,83	0,75	0,71	4,10	5,40
C4-5	continu	0-10	3,2	1,2	95,5	0,16	205	33,75	0,43	0,18	0,07	0,00	0,01	0,05	0,03	4,87	0,68	0,76	4,05	5,35
C4-6	test	0-10	4,2	1,0	94,8	0,18	233	23,57	0,91	0,29	0,05	0,01	0,02	0,01	0,01	5,12	1,25	1,24	4,80	5,50
C4-6	continu	0-10	4,2	0,8	95,0	0,17	205	33,69	0,58	0,19	0,07	0,00	0,02	0,03	0,02	4,99	0,84	0,86	4,25	5,55
F0-1	test	0-10	4,4	1,2	94,3	0,15	196	32,72	0,38	0,12	0,05	0,00	0,01	0,11	0,04	4,70	0,55	0,68	3,90	5,10
F0-1	continu	0-10	5,1	0,5	94,3	0,15	196	37,54	0,33	0,12	0,04	0,00	0,01	0,17	0,04	4,75	0,49	0,70	3,85	5,00
F0-2	test	0-10	5,2	1,0	93,9	0,15	252	32,46	0,38	0,11	0,05	0,01	0,02	0,10	0,03	4,78	0,55	0,65	3,95	5,15
F0-2	continu	0-10	5,2	0,5	94,3	0,14	187	37,62	0,35	0,12	0,05	0,08	0,01	0,15	0,04	4,69	0,59	0,66	3,90	5,05
F0-3	test	0-10	4,2	1,2	94,6	0,15	205	37,22	0,33	0,10	0,05	0,00	0,02	0,14	0,04	4,73	0,49	0,73	3,85	5,00
F0-3	continu	0-10	4,4	1,0	94,6	0,15	187	31,19	0,37	0,12	0,05	0,01	0,01	0,08	0,03	4,78	0,55	0,68	4,00	5,15
F4-2	test	0-10	3,7	1,5	94,7	0,16	187	31,12	0,43	0,15	0,05	0,01	0,01	0,04	0,03	4,90	0,64	0,68	4,10	5,30
F4-2	continu	0-10	3,5	1,0	95,5	0,17	224	34,41	0,51	0,21	0,07	0,01	0,01	0,03	0,02	5,04	0,80	0,88	4,20	5,50
F4-3	test	0-10	4,7	1,0	94,3	0,15	215	24,34	0,53	0,16	0,05	0,01	0,02	0,04	0,02	4,94	0,76	0,86	4,20	5,45
F4-3	continu	0-10	4,4	1,5	94,1	0,19	233	32,10	0,68	0,24	0,07	0,01	0,02	0,03	0,02	5,02	0,99	1,06	4,35	5,55
F4-5	test	0-10	4,5	0,5	95,0	0,16	215	29,02	0,63	0,18	0,06	0,00	0,02	0,03	0,02	5,07	0,87	0,92	4,30	5,55
F4-5	continu	0-10	4,0	1,0	95,0	0,17	215	29,24	0,79	0,25	0,07	0,00	0,02	0,01	0,01	5,32	1,11	1,25	4,35	5,60
C0	test	Moyenne	4,3	1,1	94,6	0,15	205	31,28	0,53	0,17	0,05	0,01	0,02	0,09	0,03	4,81	0,76	0,88	3,90	5,10
C0	continu	Moyenne	3,7	1,3	95,0	0,16	202	30,09	0,44	0,16	0,05	0,01	0,02	0,09	0,03	4,80	0,66	0,78	3,92	5,13
C4	test	Moyenne	4,2	0,8	95,0	0,17	218	29,80	0,61	0,23	0,05	0,01	0,02	0,04	0,02	4,92	0,90	0,92	4,30	5,38
C4	continu	Moyenne	3,7	1,1	95,1	0,17	211	35,15	0,50	0,19	0,07	0,00	0,01	0,04	0,02	4,93	0,76	0,84	4,12	5,42
F0	test	Moyenne	4,6	1,1	94,3	0,15	218	34,13	0,36	0,11	0,05	0,00	0,02	0,12	0,04	4,74	0,53	0,69	3,90	5,08
F0	continu	Moyenne	4,9	0,7	94,4	0,15	190	35,45	0,35	0,12	0,05	0,03	0,01	0,13	0,04	4,74	0,54	0,68	3,92	5,07
F4	test	Moyenne	4,3	1,0	94,7	0,16	206	28,16	0,53	0,16	0,05	0,01	0,02	0,04	0,02	4,97	0,76	0,82	4,20	5,43
F4	continu	Moyenne	4,0	1,2	94,9	0,18	224	31,92	0,66	0,23	0,07	0,01	0,02	0,02	0,02	5,13	0,97	1,06	4,30	5,55

Annexe 4 : Caractéristiques physico-chimiques des parcelles de l'essai RMO annuel de la station de Bambey avant campagne et à la clôture de l'essai (juin et décembre 1997).

Placette et bloc	Horizon cm	Stade	Granulométrie (%)			Matière organique		Passimilable mg kg ⁻¹	Complexe d'échange (cmol kg ⁻¹)										pH	
			Argiles	Limons fins	Sables	Ct	Nt		Ca	Mg	K	Na	Mn	Al	H	pHcob	S	CEC	pHKCl	pHeau
			0-2 µm	2-20 µm	20-2000 µm	%	mg kg ⁻¹													
Bloc 1	0-10	initial	3,8	1,0	95,2	0,28	336	23,96	0,95	0,36	0,13	0,03	0,03	0,01	0,01	5,49	1,46	1,37	5,10	5,95
Bloc 2	0-10	initial	3,2	1,0	95,7	0,35	345	25,00	1,01	0,34	0,13	0,02	0,03	0,00	0,00	5,62	1,50	1,53	5,25	6,20
Bloc 3	0-10	initial	3,2	1,3	95,4	0,32	392	22,28	0,91	0,34	0,12	0,02	0,03	0,01	0,01	5,48	1,39	1,50	5,20	6,15
Bloc 4	0-10	initial	3,9	1,5	94,6	0,37	457	23,08	1,04	0,41	0,13	0,02	0,03	0,00	0,00	5,57	1,60	1,75	5,25	6,20
Bloc 5	0-10	initial	4,9	1,4	93,7	0,39	429	31,54	0,96	0,44	0,15	0,01	0,03	0,01	0,01	5,53	1,56	1,70	5,15	6,10
Bloc 6	0-10	initial	3,7	1,8	94,6	0,38	457	27,52	1,17	0,47	0,17	0,02	0,03	0,00	0,00	5,80	1,83	1,99	5,45	6,25
T0-1	0-10	final	3,8	1,0	95,1	0,21	280	18,09	0,70	0,27	0,08	0,01	0,01	0,01	0,02	5,11	1,06	1,13	4,65	6,00
T1-1	0-10	final	3,6	1,2	95,2	0,19	243	18,08	0,61	0,21	0,07	0,01	0,01	0,02	0,02	4,97	0,90	0,97	4,50	5,80
C4-1	0-10	final	3,2	0,8	96,0	0,27	364	36,18	0,87	0,37	0,09	0,01	0,01	0,00	0,00	5,61	1,32	1,36	5,20	5,90
F4-1	0-10	final	3,5	0,8	95,8	0,22	252	22,75	0,57	0,22	0,06	0,00	0,01	0,01	0,01	5,12	0,85	0,92	4,25	5,65
T0-2	0-10	final	3,2	1,0	95,8	0,21	289	20,03	0,65	0,24	0,06	0,02	0,02	0,03	0,03	4,85	0,97	1,02	4,45	5,20
T1-2	0-10	final	4,2	0,3	95,5	0,23	289	20,36	0,78	0,23	0,07	0,01	0,02	0,02	0,02	4,97	1,09	1,15	4,60	5,80
C4-2	0-10	final	3,3	1,2	95,5	0,28	308	28,11	0,84	0,31	0,08	0,01	0,01	0,02	0,01	5,24	1,23	1,25	4,75	5,95
F4-2	0-10	final	3,5	1,3	95,1	0,31	317	23,74	0,99	0,34	0,08	0,00	0,02	0,00	0,01	5,40	1,41	1,50	5,15	6,15
T0-3	0-10	final	2,7	1,8	95,5	0,22	261	23,61	0,68	0,25	0,09	0,00	0,02	0,01	0,01	5,13	1,02	1,13	4,75	6,05
T1-3	0-10	final	4,0	0,8	95,3	0,22	308	18,60	0,80	0,26	0,07	0,01	0,02	0,02	0,02	5,10	1,14	1,23	4,55	5,80
C4-3	0-10	final	3,7	1,3	95,0	0,21	299	24,35	0,86	0,34	0,08	0,01	0,02	0,01	0,01	5,27	1,28	1,29	4,80	6,00
F4-3	0-10	final	3,8	1,3	94,9	0,26	355	25,27	0,96	0,38	0,08	0,01	0,02	0,01	0,01	5,34	1,43	1,49	5,00	6,10
T0-4	0-10	final	4,9	1,0	94,1	0,22	280	17,15	0,73	0,28	0,08	0,00	0,02	0,01	0,02	5,07	1,10	1,17	4,65	5,95
T1-4	0-10	final	3,2	1,5	95,3	0,26	355	19,83	0,89	0,33	0,10	0,02	0,03	0,01	0,02	5,08	1,34	1,44	4,90	5,65
C4-4	0-10	final	3,5	1,5	95,0	0,22	271	26,64	0,76	0,29	0,08	0,01	0,02	0,01	0,01	5,19	1,13	1,18	4,60	5,95
F4-4	0-10	final	4,5	0,8	94,7	0,14	345	27,68	0,90	0,38	0,10	0,01	0,02	0,01	0,01	5,12	1,38	1,51	4,85	5,95
T0-5	0-10	final	4,0	1,0	95,0	0,22	271	17,43	0,71	0,30	0,09	0,01	0,02	0,01	0,02	5,10	1,10	1,17	4,55	5,85
T1-5	0-10	final	4,1	1,0	94,9	0,20	271	20,47	0,69	0,27	0,06	0,01	0,02	0,04	0,03	4,81	1,03	1,08	4,30	5,60
C4-5	0-10	final	4,0	1,3	94,7	0,22	327	21,87	0,74	0,31	0,08	0,01	0,02	0,02	0,02	5,00	1,12	1,10	4,65	5,85
F4-5	0-10	final	4,3	0,8	94,9	0,27	364	24,56	1,06	0,46	0,08	0,01	0,02	0,01	0,01	5,16	1,61	1,67	4,95	6,05
T0-6	0-10	final	3,0	1,5	95,5	0,20	261	18,66	0,71	0,29	0,08	0,01	0,01	0,01	0,01	5,23	1,09	1,18	4,70	6,00
T1-6	0-10	final	3,8	1,6	94,6	0,22	383	21,00	0,86	0,30	0,08	0,01	0,02	0,01	0,02	5,07	1,25	1,38	4,60	5,85
C4-6	0-10	final	3,6	1,6	94,9	0,23	308	22,39	1,00	0,38	0,07	0,01	0,02	0,01	0,01	5,14	1,47	1,59	4,80	5,95
F4-6	0-10	final	3,7	1,3	95,0	0,21	308	22,61	0,93	0,35	0,08	0,01	0,02	0,01	0,01	5,22	1,38	1,53	4,75	5,95

Avant campagne, les analyses ont portées sur un échantillon composite par bloc et non sur un échantillon par parcelle

Annexe 5 : Densité apparente sèche (d_a) mesurée à la sonde Gamma de surface (Troxler 3440) sur l'essai RMO pérenne de Bambey le 24 octobre 1996.

Traitement	Demi-placette	Profondeur de la mesure (cm)													
		0		5		10		15		20		25		30	
C0-1	Test	1,752		1,593		1,619		1,627		1,625		1,637		1,655	
C0-1	Continu	1,612		1,538		1,609		1,592		1,592		1,603		1,616	
C0-4	Test	1,560		1,434		1,515		1,581		1,569		1,920		1,610	
C0-4	Continu	1,546		1,478		1,532		1,587		1,602		1,578		1,603	
C0-5	Test	1,680		1,528		1,613		1,610		1,622		1,614		1,642	
C0-5	Continu	1,648		1,658		1,613		1,633		1,603		1,600		1,615	
C4-3	Test	1,555		1,504		1,565		1,594		1,606		1,597		1,612	
C4-3	Continu	1,567		1,498		1,539		1,562		1,568		1,577		1,596	
C4-5	Test	1,597		1,483		1,522		1,571		1,597		1,590		1,587	
C4-5	Continu	1,497		1,506		1,530		1,533		1,550		1,565		1,584	
C4-6	Test	1,402		1,490		1,483		1,506		1,512		1,542		1,568	
C4-6	Continu	1,735		1,561		1,597		1,604		1,623		1,640		1,645	
F0-1	Test	1,576		1,573		1,592		1,607		1,612		1,615		1,644	
F0-1	Continu	1,645		1,601		1,630		1,625		1,628		1,661		1,648	
F0-2	Test	1,490		1,443		1,527		1,579		1,597		1,604		1,609	
F0-2	Continu	1,540		1,531		1,590		1,591		1,597		1,613		1,622	
F0-3	Test	1,556		1,573		1,593		1,601		1,597		1,617		1,654	
F0-3	Continu	1,595		1,588		1,604		1,587		1,611		1,619		1,627	
F4-2	Test	1,577		1,576		1,608		1,623		1,622		1,634		1,651	
F4-2	Continu	1,576		1,592		1,588		1,590		1,600		1,598		1,593	
F4-3	Test	1,573		1,482		1,582		1,595		1,605		1,617		1,631	
F4-3	Continu	1,520		1,540		1,564		1,556		1,554		1,563		1,592	
F4-5	Test	1,594		1,572		1,590		1,598		1,626		1,613		1,634	
F4-5	Continu	1,577		1,571		1,588		1,577		1,592		1,600		1,613	
Moyenne - écart de la moyenne															
C0	Test	1,664	0,069	1,518	0,056	1,582	0,045	1,606	0,017	1,605	0,024	1,724	0,131	1,636	0,017
C0	Continu	1,602	0,037	1,558	0,067	1,585	0,035	1,604	0,019	1,599	0,005	1,594	0,010	1,611	0,006
C4	Test	1,518	0,077	1,492	0,008	1,523	0,028	1,557	0,034	1,572	0,040	1,576	0,023	1,589	0,015
C4	Continu	1,600	0,090	1,522	0,026	1,555	0,028	1,566	0,025	1,580	0,028	1,594	0,031	1,608	0,024
F0	Test	1,541	0,034	1,530	0,058	1,571	0,029	1,596	0,011	1,602	0,007	1,612	0,005	1,636	0,018
F0	Continu	1,593	0,036	1,573	0,028	1,608	0,015	1,601	0,016	1,612	0,011	1,631	0,020	1,632	0,010
F4	Test	1,581	0,008	1,543	0,041	1,593	0,010	1,605	0,012	1,618	0,008	1,621	0,008	1,639	0,008
F4	Continu	1,558	0,033	1,568	0,018	1,580	0,011	1,574	0,012	1,582	0,019	1,587	0,016	1,599	0,009
Ensemble de l'essai		1,582	0,052	1,538	0,045	1,575	0,033	1,589	0,021	1,596	0,020	1,617	0,034	1,619	0,021

Annexe 6 : Production végétale relevée sur l'ensemble des traitements de l'essai RMO pérenne de Bambey de 1992 à 1997 - rotation mil-arachide.

Année	Composante du rendement	Production																			
		en kg ha ⁻¹ (sauf nombre d'épis) - écart de la moyenne																			
		C0		C1		Compost C2		C3		C4		F0		F1		Fumier F2		F3		F4	
1992	Epis totaux	56 759	4074	56 204	5309	58 333	4352	57 917	2546	62 685	3457	55 231	1528	56 435	4954	59 074	4383	57 546	2269	54 907	3580
	Grains	2 046	188	1 942	166	1 942	64	1 965	123	2 151	136	2 010	178	1 919	145	2 123	172	1 969	145	1 906	136
	Pailles	4 267	267	4 222	296	4 467	156	4 600	267	4 511	252	3 956	208	4 064	174	4 222	281	4 133	267	3 911	296
	MS totale	7 461	452	7 269	534	7 406	241	7 679	316	7 821	360	7 035	342	7 119	384	7 463	498	7 189	361	6 920	452
1993	Gousses	2 003	150	2 020	165	2 263	123	2 241	47	2 152	84	2 009	200	1 739	183	2 406	162	2 182	312	2 231	254
	Fanes	2 022	174	2 296	332	2 193	160	2 146	333	2 436	566	1 896	66	1 893	150	2 201	115	2 193	132	2 091	102
	MS totale	4 025	276	4 316	482	4 456	238	4 388	360	4 588	569	3 905	188	3 632	252	4 607	259	4 375	407	4 322	305
1994	Epis totaux	40 417	4167	44 398	4383	45 139	6204	49 259	4352	52 407	5093	44 074	3364	43 148	4352	58 333	8704	46 620	3935	51 435	4198
	Grains	955	186	1 136	174	1 209	153	1 313	115	1 424	279	1 035	117	1 011	187	1 700	394	1 361	113	1 381	139
	Pailles	1 473	289	1 725	303	1 945	345	2 182	209	2 382	486	1 538	198	1 597	233	2 432	532	1 965	328	2 032	229
	MS totale	2 810	523	3 297	538	3 592	538	4 011	356	4 360	859	2 975	338	3 077	410	4 757	1077	3 812	475	3 928	358
1995	Gousses	874	119	879	155	956	75	1 009	58	1 098	113	795	40	663	126	898	73	811	77	817	119
	Fanes	1 835	72	1 900	302	2 181	151	2 224	238	2 462	216	1 879	65	1 900	144	2 073	130	2 202	86	2 354	238
	MS totale	2 709	184	2 779	402	3 137	126	3 233	252	3 560	260	2 674	78	2 563	239	2 970	179	3 013	103	3 171	265
1996 Test	Epis totaux	39 063	8125	33 125	7917	32 292	4167	35 833	4792	55 833	7361	39 479	6806	33 229	5347	47 188	8646	40 625	6250	45 938	6458
	Grains	286	110	275	161	271	160	247	83	591	206	269	79	506	172	994	508	618	185	668	170
	Pailles	833	116	1 078	344	845	167	889	147	1 269	125	1 080	110	1 233	205	1 531	364	1 551	238	1 461	187
	MS totale	1 697	335	1 724	545	1 499	379	1 536	268	2 738	493	2 072	290	2 089	434	3 202	1119	2 678	553	3 098	685
1996 Continu	Epis totaux	53 229	5938	65 521	3854	73 854	6563	65 104	7569	63 021	8438	48 125	9792	58 125	6458	67 708	4514	64 271	3194	59 375	10000
	Grains	1 017	261	1 298	196	1 672	266	1 581	318	1 488	382	1 065	317	1 504	251	2 146	252	1 927	238	1 658	453
	Pailles	1 783	398	2 116	416	2 441	409	2 393	385	2 491	449	1 933	406	2 609	334	3 328	127	3 266	213	2 659	619
	MS totale	3 395	797	4 304	729	5 007	784	4 906	817	4 956	901	3 790	838	4 967	761	6 553	390	6 232	534	5 243	1060
1997 Test	Gousses	250	53	369	134	569	62	636	76	545	94	347	93	494	69	601	97	735	71	681	127
	Fanes	675	107	818	155	1 090	148	1 243	166	1 319	420	760	160	897	133	1 207	232	1 199	39	1 103	131
	MS totale	926	149	1 187	289	1 660	199	1 879	232	1 864	466	1 108	250	1 391	193	1 808	329	1 934	89	1 784	256
1997 Continu	Gousses	441	112	801	168	902	129	952	81	898	143	458	83	952	55	975	92	1 091	73	1 048	84
	Fanes	1 025	267	1 402	182	1 630	284	1 671	201	2 044	369	950	130	1 680	300	1 913	137	2 098	133	2 139	194
	MS totale	1 466	348	2 202	350	2 531	409	2 623	245	2 942	445	1 408	201	2 632	325	2 888	210	3 189	170	3 186	208

Annexe 7a : Production et exportations minérales relevées lors de la récolte de mil des placettes de prélèvements de sol sur l'essai RMO pérenne de Bambe en 1996.

Placette et bloc	Demi-placette	RECOLTE																	
		Epis totaux		Production (kg ha ⁻¹)				Exportations totales (kg ha ⁻¹)											
				Grains	Paille	MS totale		N		P	K	Ca	Mg						
C0-2	Test	34 375		144	844	1 315		18,3	3,1	13,6	5,5	7,0							
C0-2	Continu	60 625		1165	2072	3 947		46,8	9,4	49,5	11,9	14,2							
C0-3	Test	55 000		458	1013	2 045		26,2	3,8	24,6	4,9	7,2							
C0-3	Continu	45 000		673	1181	2 094		24,8	5,3	29,2	5,4	6,9							
C0-6	Test	38 750		318	731	1 394		14,0	3,7	16,4	2,9	5,3							
C0-6	Continu	50 000		1290	2019	4 081		35,0	7,2	46,3	6,2	13,4							
C4-1	Test	39 375		334	1125	2 202		28,1	5,0	20,8	5,6	7,8							
C4-1	Continu	73 750		1932	3241	6 366		73,7	13,8	73,0	13,7	25,0							
C4-2	Test	53 750		229	1069	1 794		26,8	4,4	21,2	7,0	8,2							
C4-2	Continu	76 875		2071	2922	6 047		74,9	15,8	84,3	18,1	26,3							
C4-4	Test	52 500		705	1406	3 133		45,1	7,3	41,8	6,1	11,0							
C4-4	Continu	63 750		1609	2656	5 156		71,0	13,4	79,4	11,3	18,7							
F0-4	Test	33 750		203	1069	1 642		21,8	2,9	16,9	6,0	8,1							
F0-4	Continu	31 250		735	1594	2 969		31,3	7,3	39,3	8,5	10,1							
F0-5	Test	36 875		298	1000	1 911		24,0	4,3	17,7	6,0	9,2							
F0-5	Continu	56 250		1372	2338	4 588		50,1	11,4	51,8	11,1	14,3							
F0-6	Test	31 875		198	875	1 798		21,8	4,2	15,4	5,0	7,6							
F0-6	Continu	65 625		1564	2450	5 075		61,5	9,7	44,6	12,9	21,4							
F4-1	Test	50 000		1058	2023	3 983		48,3	8,0	35,9	10,4	16,8							
F4-1	Continu	74 375		2188	3536	7 036		65,2	14,7	112,7	9,4	18,9							
F4-4	Test	27 500		297	1000	1 573		19,8	3,5	24,9	6,2	6,3							
F4-4	Continu	71 875		1898	3126	5 939		80,5	14,6	111,5	17,3	21,7							
F4-6	Test	47 500		540	1406	2 570		36,1	5,9	41,5	8,2	10,7							
F4-6	Continu	56 250		1755	3172	5 934		70,6	14,7	109,0	15,1	20,6							
Moyenne - écart de la moyenne																			
C0	test	42 708	8 194	306	46	863	12	1 585	42	19,5	4,48	3,53	0,09	18,20	0,42	4,45	0,11	6,49	0,40
C0	continu	51 875	5 833	1 043	48	1 757	183	3 374	185	35,5	7,51	7,29	0,23	41,67	0,27	7,83	3,07	11,49	2,17
C4	test	48 542	6 111	423	87	1 200	173	2 376	253	33,3	7,86	5,58	0,55	27,92	1,52	6,21	1,06	8,97	1,23
C4	continu	71 458	5 139	1 871	170	2 940	62	5 856	232	73,2	1,46	14,35	0,59	78,90	1,62	14,41	2,09	23,31	1,38
F0	test	34 167	1 806	233	57	981	129	1 784	186	22,5	0,98	3,80	0,27	16,66	1,08	5,67	1,75	8,32	1,48
F0	continu	51 042	13 194	1 224	27	2 127	89	4 210	106	47,6	10,87	9,47	0,38	45,21	1,62	10,83	1,66	15,23	0,46
F4	test	41 667	9 444	632	129	1 476	109	2 709	217	34,7	9,93	5,82	0,47	34,11	0,54	8,26	1,53	11,28	1,50
F4	continu	67 500	7 500	1 947	55	3 278	198	6 303	225	72,1	5,58	14,66	0,47	111,05	3,42	13,92	3,14	20,40	1,90

Annexe 7b : Production et exportations minérales observées sur les placettes de prélèvements de sol lors de la récolte d'arachide (1997) sur l'essai RMO pérenne de Bambeý.

Placette et bloc	Demi-placette	RECOLTE																	
		Densité (pieds ha ⁻¹)	Production (kg ha ⁻¹)				Exportations totales (kg ha ⁻¹)												
			Graines	Gousses	Fanes	MS totale	P	K	Ca	Mg									
C0-1	test	106 875	237	338	740	1 078	2,1	5,6	10,1	6,7									
C0-1	continu	131 875	261	384	1 226	1 609	2,8	8,2	17,3	10,5									
C0-4	test	90 625	146	218	735	953	1,8	5,9	9,8	5,9									
C0-4	continu	104 375	336	477	903	1 380	2,5	8,7	9,9	6,4									
C0-5	test	105 000	165	251	763	1 014	1,9	6,7	9,9	5,7									
C0-5	continu	125 625	249	356	723	1 079	2,1	7,9	10,9	4,8									
C4-3	test	115 625	246	364	1 009	1 373	2,7	10,4	12,3	7,8									
C4-3	continu	133 750	342	567	1 582	2 149	3,9	20,5	17,5	12,2									
C4-5	test	117 500	444	614	1 361	1 976	4,1	12,5	15,0	11,2									
C4-5	continu	118 750	565	849	1 728	2 577	5,1	24,8	18,8	13,5									
C4-6	test	129 375	357	504	936	1 440	3,0	8,0	14,4	9,9									
C4-6	continu	143 750	735	1 049	1 716	2 765	5,4	21,8	22,9	15,9									
F0-1	test	110 625	245	337	800	1 136	2,2	6,6	10,7	6,6									
F0-1	continu	113 750	226	340	738	1 078	1,9	6,5	9,0	5,4									
F0-2	test	108 750	187	275	623	898	1,7	8,4	7,5	3,6									
F0-2	continu	113 750	275	385	989	1 374	3,0	9,4	13,0	6,6									
F0-3	test	108 750	127	177	421	598	1,4	5,3	6,0	3,0									
F0-3	continu	137 500	296	418	841	1 259	2,5	10,8	12,5	6,2									
F4-2	test	116 875	395	543	899	1 443	3,1	11,6	10,7	6,0									
F4-2	continu	150 000	692	979	1 841	2 820	4,9	32,1	21,1	14,5									
F4-3	test	156 875	644	855	1 194	2 049	4,1	13,2	15,2	10,3									
F4-3	continu	137 500	827	1 127	2 054	3 181	5,5	36,0	26,3	17,9									
F4-5	test	118 750	433	585	1 095	1 680	2,9	12,4	12,8	7,9									
F4-5	continu	150 625	782	1 079	2 393	3 472	6,3	41,7	30,1	19,6									
Moyenne - écart de la moyenne																			
C0	test	100 833	6 806	182	36	269	46	746	12	1 015	42	1,93	0,09	6,04	0,42	9,95	0,11	6,09	0,40
C0	continu	120 625	10 833	282	36	406	48	950	183	1 356	185	2,49	0,23	8,28	0,27	12,72	3,07	7,23	2,17
C4	test	120 833	5 694	349	68	494	87	1 102	173	1 596	253	3,24	0,55	10,30	1,52	13,90	1,06	9,65	1,23
C4	continu	132 083	8 889	548	137	822	170	1 675	62	2 497	232	4,82	0,59	22,36	1,62	19,73	2,09	13,86	1,38
F0	test	109 375	833	186	40	263	57	615	129	877	186	1,76	0,27	6,76	1,08	8,09	1,75	4,38	1,48
F0	continu	121 667	10 556	266	27	381	27	856	89	1 237	106	2,44	0,38	8,90	1,62	11,51	1,66	6,05	0,46
F4	test	130 833	17 361	491	102	661	129	1 063	109	1 724	217	3,36	0,47	12,37	0,54	12,88	1,53	8,05	1,50
F4	continu	146 042	5 694	767	50	1 062	55	2 096	198	3 158	225	5,57	0,47	36,62	3,42	25,84	3,14	17,33	1,90

Annexe 8a : Données de base de la détermination de la nitrification brute *in situ* sur le dispositif de Thyssé-Kaymor (campagne 1996)

Date	Parcelle	Rép	Humidité	V total (ml) KCl extraction	mgN/kg Teneur NH4	mgN/kg Teneur NO3	mgN/kg Nminéral	Poids échant. sol sec (g)	µgN extrait NH4	µgN extrait NO3	µgN extrait Nminéral	Poids total sol cylindre (gMS)	425g à T0 MS/ajout15N	mgN/kg sol ajoutNH4
22/07/1996*	P1	1	3,89	252,07	1,38	2,82	4,21	48,08	66,55	135,66	202,21	360,96	409,09	0,74
22/07/1996*	P1	2	3,59	252,43	1,37	2,22	3,59	48,40	66,42	107,29	173,71	362,01	410,27	0,73
22/07/1996*	P3	1	3,23	252,04	1,43	2,12	3,55	48,60	69,57	103,07	172,65	363,26	411,70	0,73
22/07/1996*	P3	2	3,15	252,23	1,59	2,25	3,85	46,96	74,88	105,86	180,74	363,55	412,03	0,73
22/07/1996*	P4	1	3,80	252,59	1,40	2,86	4,27	47,79	67,09	136,76	203,85	361,26	409,43	0,74
22/07/1996*	P4	2	3,98	252,24	1,66	3,00	4,65	48,16	79,87	144,27	224,14	360,64	408,72	0,74
22/07/1996*	P5	1	4,13	252,61	2,41	3,54	5,95	48,04	115,97	170,08	286,05	360,14	408,16	0,74
22/07/1996*	P5	2	3,50	252,60	2,37	3,61	5,98	47,89	113,49	172,82	286,31	362,31	410,62	0,73
22/07/1996*	P6	1	3,74	252,22	2,17	3,68	5,85	47,43	102,80	174,76	277,55	361,49	409,69	0,73
22/07/1996*	P6	2	3,91	252,80	1,61	3,97	5,58	47,86	77,05	190,06	267,12	360,91	409,03	0,74
22/07/1996*	Blanc			250,60										
29/07/1996*	P1	1	5,37	251,83	1,40	5,64	7,04	43,82	61,16	247,19	308,35	355,88	409,09	0,74
29/07/1996*	P1	2	4,74	251,20	1,62	4,70	6,32	44,15	71,73	207,51	279,24	358,02	410,27	0,73
29/07/1996*	P3	1	5,26	251,66	1,87	4,57	6,44	43,15	80,82	197,01	277,83	356,26	411,70	0,73
29/07/1996*	P3	2	5,29	250,96	0,69	3,98	4,67	43,73	30,26	174,00	204,26	356,14	412,03	0,73
29/07/1996*	P4	1	5,81	251,40	1,14	4,81	5,95	39,74	45,31	191,30	236,61	354,39	409,43	0,74
29/07/1996*	P4	2	5,99	252,45	2,10	5,84	7,94	44,42	93,25	259,58	352,82	353,80	408,72	0,74
29/07/1996*	P5	1	6,04	251,57	1,69	6,63	8,32	43,01	72,56	285,23	357,78	353,64	408,16	0,74
29/07/1996*	P5	2	5,45	251,23	2,09	6,62	8,71	43,63	91,19	288,77	379,97	355,63	410,62	0,73
29/07/1996*	P6	1	5,52	251,35	2,18	6,38	8,56	46,93	102,40	299,52	401,92	355,40	409,69	0,73
29/07/1996*	P6	2	5,44	251,93	1,02	6,82	7,83	43,17	43,88	294,26	338,14	355,65	409,03	0,74
29/07/1996*	Blanc			249,52										
20/08/1996	P1	1	6,70	250,93	2,26	1,83	4,10	46,81	105,93	85,75	191,68	351,44	398,30	0,76
20/08/1996	P1	2	6,72	251,52	2,85	1,08	3,92	46,71	133,09	50,22	183,31	351,40	398,25	0,76
20/08/1996	P3	1	5,84	251,19	2,59	1,35	3,94	46,80	121,24	63,15	184,38	354,32	401,57	0,75
20/08/1996	P3	2	5,98	251,47	2,22	1,14	3,35	47,08	104,37	53,46	157,83	353,83	401,01	0,75
20/08/1996	P4	1	6,24	251,66	3,01	2,64	5,65	46,99	141,66	123,95	265,60	352,97	400,03	0,75
20/08/1996	P4	2	6,16	251,45	2,96	2,26	5,22	47,00	139,19	106,29	245,47	353,24	400,34	0,75
20/08/1996	P5	1	5,88	250,92	1,54	1,43	2,96	47,17	72,43	67,26	139,69	354,18	401,41	0,75
20/08/1996	P5	2	6,46	250,52	4,36	2,24	6,60	46,85	204,49	104,74	309,23	352,24	399,21	0,75
20/08/1996	P6	1	7,44	251,23	5,17	3,03	8,20	46,40	239,72	140,71	380,43	349,04	395,58	0,76
20/08/1996	P6	2	7,92	250,91	5,41	1,35	6,76	46,12	249,57	62,39	311,96	347,47	393,80	0,76
20/08/1996	Blanc			248,39										
27/08/1996	P1	1	7,57	252,59	1,36	4,57	5,93	52,27	70,95	238,86	309,81	348,61	398,30	0,76
27/08/1996	P1	2	6,98	252,03	1,42	4,21	5,63	50,48	71,61	212,43	284,04	350,54	398,25	0,76
27/08/1996	P3	1	6,63	251,78	1,83	4,43	6,27	50,92	93,38	225,66	319,04	351,67	401,57	0,75
27/08/1996	P3	2	7,41	251,43	1,63	4,22	5,85	50,45	82,13	213,01	295,14	349,15	401,01	0,75
27/08/1996	P4	1	7,06	251,83	2,53	6,20	8,73	50,26	127,28	311,71	438,99	350,29	400,03	0,75
27/08/1996	P4	2	7,08	251,99	2,72	5,70	8,42	49,41	134,39	281,71	416,10	350,22	400,34	0,75
27/08/1996	P5	1	8,96	253,36	1,19	3,29	4,49	52,94	63,17	174,35	237,52	344,18	401,41	0,75
27/08/1996	P5	2	6,42	251,74	3,02	6,83	9,84	48,61	146,66	331,91	478,56	352,36	399,21	0,75
27/08/1996	P6	1	11,33	254,32	3,44	8,69	12,13	51,43	176,80	446,90	623,70	336,84	395,58	0,76
27/08/1996	P6	2	8,01	252,03	2,51	7,23	9,74	50,38	126,44	364,15	490,59	347,19	393,80	0,76
27/08/1996	Blanc			248,42										
24/09/1996	P1	1	2,38	249,16	2,67	0,78	3,45	48,96	130,56	38,40	168,97	366,30	415,14	0,73
24/09/1996	P1	2	2,67	248,99	2,27	0,72	3,00	48,79	110,87	35,28	146,15	365,23	413,93	0,73

Annexe 8b : Données de base de la détermination de la nitrification brute *in situ* sur le dispositif de Thyssé-Kaymor (campagne 1996)

Date	Parcelle	Rép	Humidité	V total (ml) KCl extraction	mgN/kg Teneur NH4	mgN/kg Teneur NO3	mgN/kg Nminéral	Poids échant. sol sec (g)	µgN extraitKCl NH4	µgN extraitKCl NO3	µgN_extraitKCl Nminéral	Poids total sol cylindre (gMS)	425g à T0 MS/ajout 15N	mgN/kg sol ajoutNH4	
24/09/1996	P3	1	9,72	253,19	2,87	0,17	3,04	45,27	129,98	7,50	137,48	341,79	387,37	0,78	
24/09/1996	P3	2	9,76	253,37	2,34	0,28	2,62	45,24	105,96	12,61	118,58	341,65	387,20	0,78	
24/09/1996	P4	1	10,32	252,57	3,72	0,28	4,00	44,96	167,24	12,48	179,72	339,91	385,24	0,78	
24/09/1996	P4	2	9,83	252,37	3,90	0,28	4,18	45,21	176,22	12,59	188,81	341,44	386,97	0,78	
24/09/1996	P5	1	9,44	252,16	4,11	0,50	4,61	45,42	186,49	22,68	209,17	342,65	388,34	0,78	
24/09/1996	P5	2	8,77	251,84	3,71	0,32	4,04	46,67	173,34	15,07	188,41	344,77	390,74	0,77	
24/09/1996	P6	1	9,30	252,59	4,28	0,50	4,77	45,27	193,53	22,62	216,15	343,09	388,84	0,77	
24/09/1996	P6	2	8,89	252,34	2,96	0,66	3,62	45,25	134,05	29,79	163,84	344,37	390,29	0,77	
24/09/1996	Blanc			248,21											
01/10/1996	P1	1	4,77	250,32	1,67	3,64	5,31	48,23	80,31	175,68	255,99	357,91	415,14	0,73	
01/10/1996	P1	2	3,77	249,92	2,06	2,79	4,85	48,04	98,76	134,21	232,96	361,38	413,93	0,73	
01/10/1996	P3	1	9,41	251,85	2,30	2,59	4,88	48,72	111,84	126,11	237,95	342,76	387,37	0,78	
01/10/1996	P3	2	10,26	253,76	2,13	2,70	4,82	49,94	106,26	134,60	240,85	340,11	387,20	0,78	
01/10/1996	P4	1	10,22	253,54	3,05	3,57	6,62	50,70	154,66	180,84	335,50	340,21	385,24	0,78	
01/10/1996	P4	2	10,50	253,84	2,15	3,62	5,78	48,33	104,12	175,11	279,23	339,36	386,97	0,78	
01/10/1996	P5	1	10,22	253,79	3,04	3,77	6,81	48,35	146,83	182,35	329,18	340,23	388,34	0,78	
01/10/1996	P5	2	9,25	252,77	2,79	3,32	6,11	49,25	137,43	163,49	300,92	343,25	390,74	0,77	
01/10/1996	P6	1	9,64	252,84	2,45	4,08	6,53	49,58	121,40	202,33	323,73	342,02	388,84	0,77	
01/10/1996	P6	2	8,12	252,55	0,00	0,00	0,00	47,84	0,00	0,00	0,00	346,84	390,29	0,77	
01/10/1996	Blanc			247,87											
22/10/1996	P1	1	5,20	249,65	2,59	2,64	5,23	45,36	117,31	119,81	237,12	356,45	403,98	0,75	
22/10/1996	P1	2	5,04	250,99	2,47	3,13	5,60	45,36	112,09	141,98	254,06	356,99	404,59	0,74	
22/10/1996	P3	1	5,12	250,33	3,14	2,06	5,20	45,90	144,15	94,45	238,60	356,72	404,29	0,74	
22/10/1996	P3	2	4,78	250,49	3,03	2,22	5,26	46,31	140,54	102,89	243,43	357,90	405,62	0,74	
22/10/1996	P4	1	5,50	249,99	3,69	3,86	7,55	45,24	167,01	174,48	341,49	355,47	402,86	0,75	
22/10/1996	P4	2	5,19	250,31	4,36	4,52	8,88	45,86	199,91	207,41	407,32	356,51	404,05	0,74	
22/10/1996	P5	1	4,95	250,50	3,22	3,97	7,19	46,39	149,38	184,24	333,63	357,32	404,96	0,74	
22/10/1996	P5	2	4,27	250,05	3,29	2,23	5,52	46,98	154,69	104,79	259,48	359,64	407,59	0,74	
22/10/1996	P6	1	5,09	250,08	3,77	4,74	8,52	46,37	174,96	219,95	394,92	356,83	404,41	0,74	
22/10/1996	P6	2	4,30	250,06	3,26	3,97	7,23	45,97	149,88	182,35	332,22	359,54	407,47	0,74	
22/10/1996	Blanc			248,07											
29/10/1996	P1	1	5,43	250,07	1,85	4,84	6,69	43,09	79,65	208,50	288,16	355,69	403,98	0,75	
29/10/1996	P1	2	4,59	250,01	1,63	5,48	7,11	45,01	73,51	246,61	320,11	358,53	404,59	0,74	
29/10/1996	P3	1	4,72	250,32	2,36	4,34	6,71	43,12	101,91	187,23	289,14	358,09	404,29	0,74	
29/10/1996	P3	2	5,15	249,96	11,68	4,37	16,06	44,17	516,01	193,21	709,22	356,64	405,62	0,74	
29/10/1996	P4	1	5,50	250,29	2,64	6,91	9,55	44,44	117,28	307,27	424,55	355,44	402,86	0,75	
29/10/1996	P4	2	5,28	250,44	2,56	8,86	11,42	44,23	113,28	391,76	505,04	356,21	404,05	0,74	
29/10/1996	P5	1	4,62	250,00	2,28	6,62	8,91	42,64	97,31	282,44	379,76	358,43	404,96	0,74	
29/10/1996	P5	2	4,24	249,91	2,45	5,27	7,72	43,92	107,41	231,53	338,95	359,75	407,59	0,74	
29/10/1996	P6	1	5,27	250,09	2,69	7,66	10,35	44,54	119,98	341,12	461,09	356,21	404,41	0,74	
29/10/1996	P6	2	4,37	249,79	2,01	7,19	9,19	45,04	90,44	323,67	414,11	359,30	407,47	0,74	
29/10/1996	Blanc			248,57											
Solution 1					30,00										
file 2					30,20										
15N 3					30,10										

Annexe 8c : Données de base de la détermination de la nitrification brute *in situ* sur le dispositif de Thyssé-Kaymor (campagne 1996)

Date	Parcelle	Rép	Volume (ml) distillé	µg_100ml NH4 ajouté	µg 100ml NO3 ajouté	Abondance mesurée		Quantité (µg)		Abondance		Excès		%			mg/kg
						abNH4	abNO3	NH4 distillé	NO3 distillé	vraie NH4	vraie NO3	vrai NH4	vrai NO3	bilan_NH4	bilan NO3	bilanNmin	N total sol
22/07/1996*	P1	1	100,00	250	250	2,1100	0,4028	26,40	53,82	18,5950	0,5658	18,2287	0,1995	69,08	1,54	70,63	196
22/07/1996*	P1	2	100,00	250	250	2,0600	0,4228	26,31	42,50	18,1265	0,7472	17,7602	0,3809	66,93	2,32	69,25	187
22/07/1996*	P3	1	100,00	250	250	1,8600	0,4118	27,60	40,89	15,3629	0,6814	14,9966	0,3151	59,16	1,84	61,01	196
22/07/1996*	P3	2	100,00	250	250	2,0800	0,4133	29,69	41,97	16,4885	0,6853	16,1222	0,3190	70,89	1,98	72,88	177
22/07/1996*	P4	1	100,00	250	250	2,0200	0,4017	26,56	54,14	17,5592	0,5590	17,1929	0,1927	66,15	1,51	67,66	243
22/07/1996*	P4	2	100,00	250	250	1,8500	0,4034	31,66	57,20	13,5429	0,5594	13,1766	0,1931	59,78	1,58	61,36	224
22/07/1996*	P5	1	100,00	250	250	2,1300	0,4265	45,91	67,33	11,7198	0,6450	11,3535	0,2787	74,87	2,70	77,57	224
22/07/1996*	P5	2	100,00	250	250	2,1400	0,4222	44,93	68,41	11,9941	0,6216	11,6278	0,2553	75,73	2,53	78,27	215
22/07/1996*	P6	1	100,00	250	250	1,8800	0,4032	40,76	69,29	11,1478	0,5313	10,7815	0,1650	64,08	1,67	65,75	243
22/07/1996*	P6	2	100,00	250	250	1,8400	0,4112	30,48	75,19	13,9046	0,5560	13,5383	0,1897	59,67	2,06	61,73	261
22/07/1996*	Blanc		100,00	250	250	0,3742	0,3676										
29/07/1996*	P1	1	100,00	250	250	0,3990	1,2700	24,29	98,16	0,7072	3,5683	0,3409	3,2020	1,30	49,46	50,76	196
29/07/1996*	P1	2	100,00	250	250	0,3979	1,3500	28,56	82,61	0,6499	4,3229	0,2836	3,9566	1,27	51,07	52,33	187
29/07/1996*	P3	1	100,00	250	250	0,4102	1,3300	32,12	78,28	0,7304	4,4033	0,3641	4,0370	1,88	50,79	52,67	196
29/07/1996*	P3	2	100,00	250	250	0,4025	1,3000	12,06	69,34	1,0957	4,6618	0,7294	4,2955	1,39	47,14	48,53	177
29/07/1996*	P4	1	100,00	250	250	0,4067	1,1700	18,02	76,10	0,9288	3,8060	0,5625	3,4397	1,76	45,38	47,14	243
29/07/1996*	P4	2	100,00	250	250	0,4188	1,3400	36,94	102,82	0,7554	3,7042	0,3891	3,3379	2,23	53,36	55,60	224
29/07/1996*	P5	1	100,00	250	250	0,4100	1,1800	28,84	113,38	0,7648	2,9712	0,3985	2,6049	1,84	47,19	49,03	224
29/07/1996*	P5	2	100,00	250	250	0,4040	1,1500	36,30	114,94	0,6446	2,8516	0,2783	2,4853	1,60	45,22	46,81	215
29/07/1996*	P6	1	100,00	250	250	0,4522	1,2400	40,74	119,17	0,9624	3,0701	0,5961	2,7038	3,57	47,32	50,89	243
29/07/1996*	P6	2	88,76	250	250	0,4249	1,1100	17,42	116,80	1,2264	2,6990	0,8601	2,3327	2,39	43,53	45,93	261
29/07/1996*	Blanc		100,00	250	250	0,3717	0,3669										
20/08/1996	P1	1	100,00	250	250	2,6100	0,4042	42,21	34,17	15,8813	0,6712	15,5150	0,3049	68,42	1,09	69,51	196
20/08/1996	P1	2	100,00	250	250	2,2050	0,4319	52,91	19,97	10,8793	1,2364	10,5130	0,8701	58,37	1,82	60,19	187
20/08/1996	P3	1	100,00	250	250	2,2700	0,4212	48,27	25,14	12,1162	0,9538	11,7499	0,5875	59,80	1,56	61,36	196
20/08/1996	P3	2	100,00	250	250	2,5000	0,4241	41,50	21,26	15,3356	1,0880	14,9693	0,7217	65,10	1,61	66,71	177
20/08/1996	P4	1	100,00	250	250	2,3000	0,4037	56,29	49,25	10,8760	0,5867	10,5097	0,2204	62,01	1,14	63,14	243
20/08/1996	P4	2	100,00	250	250	2,5400	0,4143	55,35	42,27	12,3451	0,6902	11,9788	0,3239	69,48	1,43	70,91	224
20/08/1996	P5	1	100,00	250	250	2,6400	0,4277	28,87	26,81	22,3069	0,9878	21,9406	0,6215	66,16	1,74	67,90	224
20/08/1996	P5	2	100,00	250	250	2,3000	0,4091	81,63	41,81	8,2140	0,6570	7,8477	0,2907	66,90	1,27	68,17	215
20/08/1996	P6	1	100,00	250	250	1,9900	0,4171	95,42	56,01	6,2369	0,6379	5,8706	0,2716	58,70	1,59	60,29	243
20/08/1996	P6	2	100,00	250	250	2,2400	0,4204	99,47	24,87	6,9424	0,9508	6,5761	0,5845	68,56	1,52	70,08	261
20/08/1996	Blanc		100,00	250	250	0,3677	0,3676										
27/08/1996	P1	1	100,00	250	250	0,4242	1,6900	28,09	94,56	0,9150	5,1860	0,5487	4,8197	1,45	42,92	44,37	196
27/08/1996	P1	2	100,00	250	250	0,4487	1,7900	28,41	84,29	1,1494	6,0087	0,7831	5,6424	2,16	46,26	48,43	187
27/08/1996	P3	1	100,00	250	250	0,4571	1,6200	37,09	89,63	1,0505	5,1132	0,6842	4,7469	2,47	41,33	43,80	196
27/08/1996	P3	2	102,40	250	250	0,4833	1,6300	32,66	84,72	1,3572	5,3550	0,9909	4,9887	3,17	41,33	44,50	177
27/08/1996	P4	1	100,00	250	250	0,4579	1,4900	50,54	123,78	0,8973	3,7569	0,5310	3,3906	2,63	41,15	43,78	243
27/08/1996	P4	2	100,00	250	250	0,4488	1,5500	53,33	111,79	0,8226	4,1941	0,4563	3,8278	2,43	42,75	45,18	224
27/08/1996	P5	1	100,00	250	250	0,4480	1,8000	24,93	68,82	1,2389	7,0036	0,8726	6,6373	2,04	42,93	44,97	224
27/08/1996	P5	2	100,00	250	250	0,4369	1,4300	58,26	131,84	0,7280	3,4444	0,3617	3,0781	2,13	41,05	43,18	215
27/08/1996	P6	1	100,00	250	250	0,4463	1,3300	69,52	175,72	0,7241	2,6992	0,3578	2,3329	2,38	39,23	41,61	243
27/08/1996	P6	2	100,00	250	250	0,4564	1,4900	50,17	144,48	0,8913	3,4320	0,5250	3,0657	2,54	42,69	45,23	261
27/08/1996	Blanc		100,00	250	250	0,3671	0,3672										
24/09/1996	P1	1	100,00	250	250	2,3100	0,4162	52,40	15,41	11,5700	1,2038	11,2037	0,8375	60,6858	1,3343	62,0201	196
24/09/1996	P1	2	100,00	250	250	2,5500	0,4153	44,53	14,17	14,7946	1,2562	14,4283	0,8899	66,4009	1,3031	67,7040	187

Annexe 8d : Données de base de la détermination de la nitrification brute *in situ* sur le dispositif de Thyssé-Kaymor (campagne 1996)

Date	Parcelle	Rép	Volume (ml) distillé	µg_100ml NH4 ajouté	µg 100ml NO3 ajouté	Abondance mesurée		Quantité (µg)		Abondance		Excès		%			mg/kg
						abNH4	abNO3	NH4 distillé	NO3 distillé	vraie NH4	vraie NO3	vrai NH4	vrai NO3	bilan_NH4	bilan NO3	bilanNmin	N total sol
24/09/1996	P3	1	100,00	250	250	2,1900	0,4407	51,34	2,96	11,0574	6,6072	10,691	6,2409	58,18	1,96	60,14	196
24/09/1996	P3	2	100,00	250	250	2,3600	0,4111	41,82	4,98	14,2613	2,5932	13,895	2,2269	61,66	1,18	62,84	177
24/09/1996	P4	1	100,00	250	250	2,3100	0,4133	66,22	4,94	9,6379	2,7231	9,272	2,3568	65,00	1,23	66,23	243
24/09/1996	P4	2	100,00	250	250	2,2400	0,4205	69,83	4,99	8,9385	3,0699	8,572	2,7036	63,26	1,43	64,68	224
24/09/1996	P5	1	100,00	250	250	2,2800	0,4133	73,96	8,99	8,7397	1,6823	8,373	1,3160	65,33	1,25	66,58	224
24/09/1996	P5	2	100,00	250	250	2,4400	0,4253	68,83	5,99	9,9621	2,8336	9,596	2,4673	68,13	1,52	69,65	215
24/09/1996	P6	1	100,00	250	250	2,2000	0,4205	76,62	8,96	8,1744	1,8961	7,808	1,5298	63,50	1,45	64,96	243
24/09/1996	P6	2	100,00	250	250	2,3900	0,4338	53,12	11,81	11,9006	1,8348	11,534	1,4685	65,24	1,85	67,09	261
24/09/1996	Blanc		100,00	250	250	0,3691	0,3696										
01/10/1996	P1	1	100,00	250	250	0,4534	1,3000	32,08	70,18	1,1106	4,6212	0,744	4,2549	2,52	31,48	34,00	196
01/10/1996	P1	2	100,00	250	250	0,4732	1,5900	39,52	53,70	1,1320	7,2806	0,766	6,9143	3,19	39,12	42,31	187
01/10/1996	P3	1	100,00	250	250	0,5137	1,4300	44,40	50,07	1,3280	6,7340	0,962	6,3677	4,18	31,24	35,42	196
01/10/1996	P3	2	100,00	250	250	0,4915	1,6700	41,87	53,04	1,2225	7,8086	0,856	7,4423	3,45	38,00	41,45	177
01/10/1996	P4	1	100,00	250	250	0,5277	1,4500	61,00	71,33	1,1778	5,2437	0,812	4,8774	4,67	32,79	37,46	243
01/10/1996	P4	2	100,00	250	250	0,5268	1,2600	41,02	68,98	1,4882	4,4939	1,122	4,1276	4,58	28,32	32,89	224
01/10/1996	P5	1	100,00	250	250	0,5065	1,5000	57,85	71,85	1,1001	5,4400	0,734	5,0737	4,23	36,36	40,59	224
01/10/1996	P5	2	100,00	250	250	0,5195	1,3500	54,37	64,68	1,2112	5,1470	0,845	4,7807	4,51	30,34	34,85	215
01/10/1996	P6	1	100,00	250	250	0,4867	1,3100	48,01	80,02	1,0992	4,2540	0,733	3,8877	3,41	30,18	33,60	243
01/10/1996	P6	2	100,00	250	250	0,4963	1,3800										261
01/10/1996	Blanc		100,00	250	250	0,3675	0,3682										
22/10/1996	P1	1	100,00	250	250	2,4200	0,4279	46,99	47,99	13,3313	0,7418	12,965	0,3755	66,27	1,96	68,23	196
22/10/1996	P1	2	100,00	250	250	2,4800	0,4103	44,66	56,57	14,2971	0,5988	13,931	0,2325	68,14	1,44	69,58	187
22/10/1996	P3	1	100,00	250	250	2,4400	0,4261	57,59	37,73	11,4307	0,8134	11,064	0,4471	68,73	1,82	70,55	196
22/10/1996	P3	2	100,00	250	250	2,2300	0,4274	56,11	41,08	10,5221	0,7911	10,156	0,4248	61,17	1,87	63,04	177
22/10/1996	P4	1	100,00	250	250	2,0300	0,4071	66,80	69,79	8,2457	0,5484	7,879	0,1821	57,33	1,38	58,72	243
22/10/1996	P4	2	100,00	250	250	2,0700	0,4130	79,87	82,86	7,3944	0,5498	7,028	0,1835	60,56	1,64	62,20	224
22/10/1996	P5	1	100,00	250	250	2,2500	0,4104	59,63	73,55	10,1353	0,5557	9,769	0,1894	62,33	1,49	63,83	224
22/10/1996	P5	2	100,00	250	250	2,0900	0,4186	61,86	41,91	9,0444	0,7226	8,678	0,3563	56,98	1,58	58,56	215
22/10/1996	P6	1	100,00	250	250	2,0200	0,4263	69,96	87,95	7,9193	0,5930	7,553	0,2267	56,39	2,13	58,51	243
22/10/1996	P6	2	100,00	250	250	2,0900	0,4153	59,94	72,92	9,2682	0,5787	8,902	0,2124	57,86	1,68	59,53	261
22/10/1996	Blanc		100,00	250	250	0,3675	0,3670										
29/10/1996	P1	1	100,00	250	250	0,4158	1,5900	31,85	83,38	0,7826	5,2551	0,416	4,8888	1,52	46,76	48,28	196
29/10/1996	P1	2	100,00	250	250	0,4324	1,6900	29,40	98,64	0,9710	5,0416	0,605	4,6753	1,95	50,70	52,66	187
29/10/1996	P3	1	100,00	250	250	0,4409	1,6300	40,71	74,80	0,8820	5,8492	0,516	5,4829	2,41	47,09	49,50	196
29/10/1996	P3	2	100,00	250	250	0,4391	1,6100	206,44	77,30	0,5239	5,6282	0,158	5,2619	3,65	45,67	49,33	177
29/10/1996	P4	1	100,00	250	250	0,4410	1,5000	46,86	122,77	0,8248	3,8059	0,459	3,4396	2,38	46,87	49,26	243
29/10/1996	P4	2	100,00	250	250	0,4657	1,4400	45,23	156,43	0,9998	3,1538	0,634	2,7875	3,21	48,81	52,02	224
29/10/1996	P5	1	100,00	250	250	0,4497	1,3300	38,92	112,98	0,9676	3,4596	0,601	3,0933	2,72	40,59	43,31	224
29/10/1996	P5	2	100,00	250	250	0,4472	1,5400	42,98	92,65	0,9017	4,7035	0,535	4,3372	2,61	45,60	48,21	215
29/10/1996	P6	1	100,00	250	250	0,4420	1,4000	47,97	136,40	0,8221	3,2922	0,456	2,9259	2,43	44,34	46,77	243
29/10/1996	P6	2	100,00	250	250	0,4402	1,3900	36,21	129,58	0,9314	3,3625	0,565	2,9962	2,26	42,92	45,19	261
29/10/1996	Blanc		100,00	250	250	0,3678	0,3671										
Solution 1			5,00	3000	3000	3,6400	0,3934			69,1140							
file 2			5,00	3000	3000	3,5800	0,3979			67,4283							
15N 3			5,00	3000	3000	3,6100	0,3950			68,2685							

* Pour cette première date, l'excès de la solution utilisée est de 50%, et non 68% pour les dates suivantes

Annexe 9 : Biomasse microbienne et nitrification apparente de l'essai RMO pérenne en 1996 et 1997, et de l'essai RMO annuel en 1997, station de Bambeby - Horizon 0-10 cm.

Essai RMO pérenne, campagne 1996

Placette	Biomasse microbienne (mgC kg ⁻¹) (moyenne et écart-type)				Cumul NO ₃ produit	
	Avant hivernage	Après hivernage	Mi-saison sèche	Fin saison sèche	mgN kg ⁻¹	kgN ha ⁻¹
	C0 2 Test	23 1.21	22 0.39	27 0.63	24 1.66	21.36
C0 3 Test	18 0.83	24 3.03	26 0.90	20 4.23	26.42	39.6
C0 6 Test	22 0.51	19 2.56	25 0.47	24 3.26	22.32	33.5
C4 1 Test	28 0.29	36 1.14	33 0.83	34 1.89	24.23	36.3
C4 2 Test	32 1.76	35 0.43	31 0.80	23 3.39	24.06	36.1
C4 4 Test	33 2.12	46 8.39	34 1.01	43 2.18	24.68	37.0
F0 4 Test	20 3.86	27 0.72	23 0.91	24 1.62	24.09	36.1
F0 5 Test	19 0.69	26 0.36	25 1.80	23 2.02	17.58	26.4
F0 6 Test	17 0.46	24 1.57	24 0.03	26 0.81	15.94	23.9
F4 1 Test	25 1.64	32 1.22	30 1.35	36 0.47	26.59	39.9
F4 4 Test	31 3.50	26 1.10	27 1.03	29 0.27	24.11	36.2
F4 6 Test	22 2.02	26 0.78	34 4.92	27 2.51	26.93	40.4

Essai RMO pérenne, campagne 1997

Placette	Biomasse microbienne (mgC kg ⁻¹) (moyenne et écart-type)				Cumul NO ₃ produit	
	Semis	Gynophores	Gousses	Post-récolte	mgN kg ⁻¹	kgN ha ⁻¹
	C0 1 Test	19 6.18	14 0.79	4 1.31	28 2.30	39.78
C0 4 Test	21 8.64	15 1.62	10 1.28	20 2.50	39.15	58.7
C0 5 Test	18 2.80	16 0.87	9 1.26	33 1.68	50.13	75.2
C4 3 Test	17 2.05	23 0.18	14 0.90	28 0.86	45.37	68.1
C4 5 Test	23 0.26	26 1.70	16 0.35	28 0.47	56.96	85.4
C4 6 Test	19 3.46	23 0.11	16 0.02	28 0.46	57.09	85.6
F0 1 Test	12 1.14	13 0.06	10 1.85	30 0.83	44.25	66.4
F0 2 Test	11 0.96	16 1.36	9 1.24	31 0.00	59.43	89.1
F0 3 Test	10 0.41	8 0.10	8 0.80	33 0.01	46.77	70.2
F4 2 Test	14 1.34	13 1.19	9 0.47	23 0.01	50.07	75.1
F4 3 Test	6 2.16	22 10.25	13 1.63	26 0.39	48.31	72.5
F4 5 Test	30 10.87	17 0.02	16 2.44	25 0.06	46.32	69.5
C0 1 Continu	17 1.35	18 0.70	5 0.28	20 0.31	36.54	54.8
C0 4 Continu	13 0.49	15 1.11	9 0.01	15 1.23	36.94	55.4
C0 5 Continu	12 0.63	18 1.23	14 2.11	34 0.42	48.86	73.3
C4 3 Continu	14 3.70	23 0.06	28 3.45	32 0.01	65.42	98.1
C4 5 Continu	18 4.76	26 2.52	27 4.20	31 0.00	72.00	108.0
C4 6 Continu	18 0.23	27 0.87	23 0.84	28 0.79	63.73	95.6
F0 1 Continu	10 5.25	13 0.92	13 1.61	32 0.23	38.13	57.2
F0 2 Continu	11 1.84	10 2.21	3 0.98	29 0.00	50.29	75.4
F0 3 Continu	11 0.97	8 0.99	8 0.44	20 1.31	41.31	62.0
F4 2 Continu	20 0.79	23 0.10	20 0.03	24 0.73	62.90	94.3
F4 3 Continu	18 1.15	22 1.24	17 3.40	31 0.07	88.72	133.1
F4 5 Continu	20 2.47	23 0.90	33 8.70	30 1.12	72.38	108.6

Essai RMO annuel, campagne 1997

Traitement	Biomasse microbienne (mgC kg ⁻¹) (moyenne et écart-type)				Cumul NO ₃ produit (moyenne et écart-type)	
	Semis	Début montaison	Fin montaison	Post-récolte	mgN kg ⁻¹	kgN ha ⁻¹
	T0	34 5.16	31 1.99	21 2.17	39 2.96	79.37 7.1
T1	31 2.57	29 3.15	22 2.61	39 4.60	118.38 12.6	177.6 19.0
C4	32 4.19	35 3.70	31 4.15	34 5.30	118.42 10.0	177.6 15.0
F4	36 12.93	40 5.50	28 4.00	42 4.21	125.12 12.8	187.7 19.2

Annexe 10a : Identification des placettes en milieu paysan, étiquettes utilisées et coordonnées géographiques des champs étudiés

Zone	Parcelle	Bloc	Village	Paysan	Champ	Placette témoin	Placette avec fumier	Latitude N	Longitude O	ECP* (m)
1	1	1	Paoskoto	Ibrahima KANE	Z1-P1	Z1-P1-B1 S	Z1-P1-B1 F	13°47'13	15°47'33	40
1	1	2	Paoskoto		Z1-P1	Z1-P1-B2 S	Z1-P1-B2 F			
1	2	1	Paoskoto	Ibou MBAYE	Z1-P2	Z1-P2-B1 S	Z1-P2-B1 F	13°47'15	15°47'21	36
1	2	2	Paoskoto		Z1-P2	Z1-P2-B2 S	Z1-P2-B2 F			
1	3	1	Paoskoto	Aly MANE	Z1-P3	Z1-P3-B1 S	Z1-P3-B1 F	13°47'27	15°47'19	37
1	3	2	Paoskoto		Z1-P3	Z1-P3-B2 S	Z1-P3-B2 F			
1	4	1	Paoskoto	Matar MBAYE	Z1-P4	Z1-P4-B1 S	Z1-P4-B1 F	13°47'11	15°47'16	47
1	4	2	Paoskoto		Z1-P4	Z1-P4-B2 S	Z1-P4-B2 F			
1	6	1	Paoskoto	Moussa MANE	Z1-P6	Z1-P6-B1 S	Z1-P6-B1 F	13°48'01	15°47'41	50
1	6	2	Paoskoto		Z1-P6	Z1-P6-B2 S	Z1-P6-B2 F			
1	7	1	Keur Bidie	Diombo BA	Z1-P7	Z1-P7-B1 S	Z1-P7-B1 F	13°47'27	15°46'23	50
1	7	2	Keur Bidie		Z1-P7	Z1-P7-B2 S	Z1-P7-B2 F			
1	8	1	Keur Bidie	Elhadji BA	Z1-P8	Z1-P8-B1 S	Z1-P8-B1 F	13°47'29	15°46'18	52
1	8	2	Keur Bidie		Z1-P8	Z1-P8-B2 S	Z1-P8-B2 F			
1	9	1	Keur Bidie	Bohaume BA	Z1-P9	Z1-P9-B1 S	Z1-P9-B1 F	13°47'23	15°46'04	62
1	9	2	Keur Bidie		Z1-P9	Z1-P9-B2 S	Z1-P9-B2 F			
1	10	1	Keur Bidie	Demba BA	Z1-P10	Z1-P10-B1 S	Z1-P10-B1 F	13°47'13	15°46'12	33
1	10	2	Keur Bidie		Z1-P10	Z1-P10-B2 S	Z1-P10-B2 F			
1	11	1	Keur Bidie	Samba Sebe SOW	Z1-P11	Z1-P11-B1 S	Z1-P11-B1 F	13°47'15	15°46'18	50
1	11	2	Keur Bidie		Z1-P11	Z1-P11-B2 S	Z1-P11-B2 F			
1	13	1	Keur Bidie	Samba Niari SOW	Z1-P13	Z1-P13-B1 S	Z1-P13-B1 F	13°47'07	15°46'44	45
1	13	2	Keur Bidie		Z1-P13	Z1-P13-B2 S	Z1-P13-B2 F			
1	14	1	Keur Bidie	Mari DIALLO	Z1-P14	Z1-P14-B1 S	Z1-P14-B1 F	13°46'51	15°46'27	50
1	14	2	Keur Bidie		Z1-P14	Z1-P14-B2 S	Z1-P14-B2 F			
1	15	1	Darou Loughué	Bara NDIAYE	Z1-P15	Z1-P15-B1 S	Z1-P15-B1 F	13°46'39	15°45'16	56
1	15	2	Darou Loughué		Z1-P15	Z1-P15-B2 S	Z1-P15-B2 F			
1	16	1	Darou Loughué	Ibrahima NDIAYE	Z1-P16	Z1-P16-B1 S	Z1-P16-B1 F	13°46'43	15°45'18	30
1	16	2	Darou Loughué		Z1-P16	Z1-P16-B2 S	Z1-P16-B2 F			
1	17	1	Darou Loughué	Bara NDIAYE	Z1-P17	Z1-P17-B1 S	Z1-P17-B1 F	13°46'44	15°45'21	37
1	17	2	Darou Loughué		Z1-P17	Z1-P17-B2 S	Z1-P17-B2 F			
1	18	1	Darou Loughué	Ibrahima NDIAYE	Z1-P18	Z1-P18-B1 S	Z1-P18-B1 F	13°46'40	15°45'30	49
1	18	2	Darou Loughué		Z1-P18	Z1-P18-B2 S	Z1-P18-B2 F			

* ECP (m) : Erreur Circulaire Probable donnée en mètres

Annexe 10b : Identification des placettes en milieu paysan, étiquettes utilisées et coordonnées géographiques des champs étudiés (suite)

Zone	Parcelle	Bloc	Village	Paysan	Champ	Placette témoin	Placette avec fumier	Latitude N	Longitude O	ECP* (m)
1	19	1	Darou Loughué	Keba THIAM	Z1-P19	Z1-P19-B1 S	Z1-P19-B1 F	13°46'35	15°45'43	48
1	19	2	Darou Loughué		Z1-P19	Z1-P19-B2 S	Z1-P19-B2 F			
1	20	1	Darou Loughué	Keba THIAM	Z1-P20	Z1-P20-B1 S	Z1-P20-B1 F	13°46'39	15°45'43	50
1	20	2	Darou Loughué		Z1-P20	Z1-P20-B2 S	Z1-P20-B2 F			
1	21	1	Darou Loughué	Ibou THIAM	Z1-P21	Z1-P21-B1 S	Z1-P21-B1 F	13°46'53	15°45'27	50
1	21	2	Darou Loughué		Z1-P21	Z1-P21-B2 S	Z1-P21-B2 F			
1	23	1	Darou Loughué	Babacar GUEYE	Z1-P23	Z1-P23-B1 S	Z1-P23-B1 F	13°46'31	15°45'35	49
1	23	2	Darou Loughué		Z1-P23	Z1-P23-B2 S	Z1-P23-B2 F			
1	24	1	Darou Loughué	Cheikh THIAM	Z1-P24	Z1-P24-B1 S	Z1-P24-B1 F	13°46'38	15°46'01	40
1	24	2	Darou Loughué		Z1-P24	Z1-P24-B2 S	Z1-P24-B2 F			
1	25	1	Darou Loughué	Birame MBOW	Z1-P25	Z1-P25-B1 S	Z1-P25-B1 F	13°46'41	15°46'11	43
1	25	2	Darou Loughué		Z1-P25	Z1-P25-B2 S	Z1-P25-B2 F			
2	5	1	Ndiakane	Abdou NGOM	Z2-P5	Z2-P5-B1 S	Z2-P5-B1 F	14°42'41	16°22'38	29
2	5	2	Ndiakane		Z2-P5	Z2-P5-B2 S	Z2-P5-B2 F			
2	12	1	Ndiakane	Modou FAYE (Yopane)	Z2-P12	Z2-P12-B1 S	Z2-P12-B1 F	14°42'21	16°22'34	25
2	12	2	Ndiakane		Z2-P12	Z2-P12-B2 S	Z2-P12-B2 F			
2	13	1	Ndiakane	Modou FAYE(Tape)	Z2-P13	Z2-P13-B1 S	Z2-P13-B1 F	14°42'09	16°22'42	32
2	13	2	Ndiakane		Z2-P13	Z2-P13-B2 S	Z2-P13-B2 F			
2	18	1	Keur Seck	Aliou MBAYE	Z2-P18	Z2-P18-B1 S	Z2-P18-B1 F	14°44'28	16°25'41	38
2	18	2	Keur Seck		Z2-P18	Z2-P18-B2 S	Z2-P18-B2 F			
2	20	1	Keur Seck	Abdou FAYE	Z2-P20	Z2-P20-B1 S	Z2-P20-B1 F	14°44'32	16°25'36	26
2	20	2	Keur Seck		Z2-P20	Z2-P20-B2 S	Z2-P20-B2 F			
2	21	1	Keur Seck	Aliou FALL	Z2-P21	Z2-P21-B1 S	Z2-P21-B1 F	14°44'45	16°25'35	48
2	21	2	Keur Seck		Z2-P21	Z2-P21-B2 S	Z2-P21-B2 F			
2	24	1	Keur Seck	Gorgui FAYE	Z2-P24	Z2-P24-B1 S	Z2-P24-B1 F	14°45'00	16°25'46	38
2	24	2	Keur Seck		Z2-P24	Z2-P24-B2 S	Z2-P24-B2 F			

* ECP (m) : Erreur Circulaire Probable donnée en mètres

Annexe 11a : Caractéristiques physico-chimiques des sols de la campagne d'essais en milieu paysan (1997), zone de Nioro - Horizon 0-10 cm

Placette	Granulométrie			Matière organique (C et N)				Passimilable Après campagne mg kg ⁻¹	Complexe d'échange après campagne (cmol kg ⁻¹)								pH		
	Argiles 0-2 µm	Limons 2-20 µm	Sables 20-2000 µm	Avant campagne Ct %	Après campagne Nt mg kg ⁻¹	Avant campagne Ct %	Après campagne Nt mg kg ⁻¹		Ca	Mg	K	Na	Mn	Al	H	S	CEC	Après campagne pH KCl	Après campagne pH eau
Z1-P1-B1 S	9.7	2.9	87.3	0.43	355	0.43	383	8.30	0.81	0.49	0.04	0.01	0.06	0.01	0.02	1.35	1.60	4.60	5.05
Z1-P1-B1 F	7.4	5.7	86.9	0.47	355	0.50	401	10.08	0.93	0.74	0.05	0.02	0.06	0.00	0.01	1.74	1.92	5.00	5.33
Z1-P1-B2 S	4.6	3.9	91.4	0.39	271	0.34	280	7.81	0.91	0.47	0.04	0.05	0.03	0.01	0.01	1.46	1.58	4.95	5.25
Z1-P1-B2 F	5.1	4.2	90.7	0.43	280	0.34	317	8.82	0.99	0.79	0.05	0.02	0.02	0.00	0.00	1.85	1.96	5.65	5.80
Z1-P2-B1 S	5.6	4.9	89.5	0.45	345	0.38	299	8.22	1.02	0.51	0.04	0.01	0.05	0.01	0.01	1.57	1.76	5.10	5.35
Z1-P2-B1 F	6.1	5.4	88.5	0.42	327	0.54	411	14.04	1.35	1.06	0.11	0.01	0.02	0.00	0.00	2.25	2.58	6.05	
Z1-P2-B2 S	6.2	5.0	88.8	0.36	271	0.38	308	12.09	1.12	0.51	0.04	0.03	0.05	0.00	0.01	1.70	1.77	5.15	5.50
Z1-P2-B2 F	6.5	5.8	87.8	0.36	280	0.61	457	11.37	1.52	1.15	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	2.76	2.83	6.30	
Z1-P3-B1 S	6.2	5.0	88.8	0.34	280	0.33	271	8.78	0.55	0.36	0.03	0.01	0.09	0.02	0.02	0.94	1.16	4.65	5.11
Z1-P3-B1 F	7.0	3.7	89.2	0.34	280	0.39	299	9.73	0.73	0.62	0.09	0.01	0.05	0.01	0.01	1.46	1.65	5.05	5.41
Z1-P3-B2 S	6.0	4.1	89.9	0.36	280	0.30	261	8.21	0.65	0.35	0.02	0.01	0.04	0.02	0.02	1.04	1.22	4.60	4.96
Z1-P3-B2 F	6.1	4.7	89.2	0.37	252	0.41	317	10.57	0.86	0.69	0.06	0.02	0.04	0.01	0.01	1.63	1.84	5.20	5.50
Z1-P4-B1 S	5.8	3.3	90.9	0.30	261	0.25	243	12.39	0.59	0.31	0.03	0.01	0.04	0.00	0.01	0.95	1.12	4.80	5.23
Z1-P4-B1 F	5.6	3.6	90.7	0.32	261	0.41	392	19.48	1.24	0.80	0.09	0.00	0.02	0.00	0.00	2.13	2.29	5.80	6.02
Z1-P4-B2 S	6.6	4.1	89.3	0.43	327	0.46	392	7.67	1.18	0.62	0.06	0.01	0.02	0.00	0.00	1.87	1.99	5.65	5.89
Z1-P4-B2 F	6.6	3.1	90.4	0.30	243	0.37	336	7.87	1.06	0.79	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	1.97	2.11	6.05	6.19
Z1-P6-B1 S	5.8	2.6	91.7	0.26	233	0.29	271	5.37	0.91	0.41	0.03	0.02	0.03	0.00	0.01	1.37	1.50	4.95	5.33
Z1-P6-B1 F	5.4	3.6	90.9	0.29	243	0.32	308	8.64	0.96	0.56	0.08	0.01	0.03	0.00	0.00	1.62	1.64	5.55	5.81
Z1-P6-B2 S	6.3	3.1	90.6	0.38	289	0.32	299	5.67	1.06	0.53	0.04	0.02	0.04	0.00	0.01	1.65	1.72	5.00	5.45
Z1-P6-B2 F	6.3	5.0	88.7	0.34	261	0.38	327	7.11	1.12	0.67	0.05	0.02	0.05	0.00	0.00	1.86	1.97	5.35	5.87
Z1-P7-B1 S	4.6	2.7	92.7	0.28	252	0.27	252	6.51	1.00	0.35	0.08	0.01	0.03	0.00	0.00	1.43	1.53	5.40	5.85
Z1-P7-B1 F	4.1	3.0	92.9	0.30	261	0.34	289	7.23	1.17	0.53	0.13	0.01	0.01	0.00	0.00	1.85	1.93	6.00	6.39
Z1-P7-B2 S	4.1	3.8	92.1	0.35	271	0.32	289	6.05	1.22	0.42	0.09	0.03	0.02	0.00	0.00	1.75	1.81	5.35	5.94
Z1-P7-B2 F	4.3	3.5	92.2	0.31	280	0.36	317	6.58	1.40	0.69	0.15	0.01	0.01	0.00	0.00	2.26	2.31	6.15	6.43
Z1-P8-B1 S	5.0	4.7	90.2	0.44	336	0.43	336	5.77	1.87	0.69	0.13	0.01	0.01	0.00	0.00	2.71	2.82	5.95	6.34
Z1-P8-B1 F	6.4	3.1	90.5	0.45	392	0.54	411	5.98	1.98	0.92	0.15	0.02	0.01	0.00	0.00	3.07	3.05	6.40	6.60
Z1-P8-B2 S	5.7	4.9	89.4	0.46	401	0.45	336	7.36	1.88	0.67	0.11	0.02	0.02	0.00	0.00	2.67	2.69	5.65	6.17
Z1-P8-B2 F	6.0	4.6	89.5	0.48	401	0.43	336	5.32	1.91	0.63	0.09	0.01	0.02	0.00	0.00	2.64	2.63	5.65	6.06
Z1-P9-B1 S	6.0	4.1	90.0	0.30	261	0.30	280	6.07	1.07	0.47	0.15	0.01	0.03	0.00	0.00	1.70	1.86	5.65	6.11
Z1-P9-B1 F	5.5	2.9	91.6	0.29	261	0.32	299	7.84	0.80	0.42	0.06	0.01	0.05	0.00	0.01	1.29	1.45	5.05	5.50
Z1-P9-B2 S	6.2	4.6	89.2	0.30	271	0.27	261	7.00	0.62	0.30	0.04	0.02	0.05	0.01	0.02	0.98	1.13	4.50	4.96
Z1-P9-B2 F	7.0	4.8	88.3	0.29	280	0.33	317	6.49	1.13	0.67	0.11	0.02	0.02	0.00	0.00	1.92	2.07	5.85	6.15

Annexe 11b : Caractéristiques physico-chimiques des sols de la campagne d'essais en milieu paysan (1997), zone de Nioro - Horizon 0-10 cm

Placette	Granulométrie			Matière organique (C et N)				Passimilable Après campagne mg kg ⁻¹	Complexe d'échange après campagne (cmol kg ⁻¹)								pH		
	Argiles	Limons fins	Sables	Avant campagne		Après campagne			Ca	Mg	K	Na	Mn	Al	H	S	CEC	PHKCl	pHeau
	0-2 µm	2-20 µm	20-2000 µm	Ct %	Nt mg kg ⁻¹	Ct %	Nt mg kg ⁻¹												
Z1-P10-B1 S	7.4	4.8	87.8	0.29	243	0.26	243	5.88	0.53	0.29	0.05	0.01	0.08	0.02	0.02	0.88	1.12	4.45	4.97
Z1-P10-B1 F	7.5	4.8	87.7	0.32	233	0.27	252	7.93	0.64	0.41	0.07	0.01	0.05	0.02	0.02	1.13	1.34	4.55	4.93
Z1-P10-B2 S	7.6	6.2	86.2	0.36	280	0.35	280	7.03	0.60	0.33	0.03	0.02	0.07	0.01	0.02	0.98	1.21	4.45	5.02
Z1-P10-B2 F	7.4	6.3	86.3	0.34	280	0.34	280	7.26	0.75	0.38	0.04	0.01	0.06	0.02	0.02	1.18	1.36	4.50	4.95
Z1-P11-B1 S	7.3	3.1	89.7	0.32	317	0.32	327	6.44	1.29	0.53	0.09	0.04	0.02	0.00	0.00	1.94	2.11	5.45	5.93
Z1-P11-B1 F	12.4	4.1	83.6	0.21	205	0.38	345	7.61	1.35	0.66	0.09	0.03	0.02	0.00	0.00	2.13	2.28	5.55	5.91
Z1-P11-B2 S	7.6	3.9	88.5	0.36	336	0.38	345	6.62	1.39	0.59	0.12	0.02	0.03	0.00	0.00	2.12	2.21	5.50	5.86
Z1-P11-B2 F	8.7	5.1	86.3	0.35	308	0.44	420	6.77	1.59	0.85	0.15	0.01	0.01	0.00	0.00	2.60	2.71	5.95	6.19
Z1-P13-B1 S	7.9	4.5	87.6	0.39	317	0.39	317	8.14	1.38	0.47	0.05	0.01	0.06	0.01	0.01	1.91	2.08	4.90	5.33
Z1-P13-B1 F	7.2	4.8	88.0	0.38	327	0.42	355	6.96	1.50	0.66	0.11	0.01	0.02	0.00	0.00	2.30	2.41	5.55	6.00
Z1-P13-B2 S	6.7	3.8	89.5	0.36	308	0.37	336	7.36	1.53	0.52	0.10	0.01	0.04	0.00	0.00	2.16	2.30	5.40	5.85
Z1-P13-B2 F	7.0	4.8	88.1	0.49	373	0.51	420	10.57	1.95	0.81	0.14	0.01	0.02	0.00	0.00	2.91	3.05	5.75	6.11
Z1-P14-B1 S	7.2	4.4	88.4	0.35	308	0.39	327	6.47	1.05	0.47	0.04	0.01	0.05	0.01	0.02	1.57	1.69	4.70	5.03
Z1-P14-B1 F	6.7	5.0	88.3	0.33	299	0.42	364	9.40	1.18	0.71	0.06	0.01	0.03	0.00	0.01	1.97	2.04	5.00	5.39
Z1-P14-B2 S	6.6	4.9	88.5	0.37	308	0.36	308	8.94	1.10	0.48	0.04	0.01	0.04	0.01	0.02	1.63	1.73	4.80	5.06
Z1-P14-B2 F	6.2	5.2	88.6	0.27	308	0.32	289	7.98	0.71	0.51	0.08	0.01	0.04	0.01	0.01	1.31	1.49	4.75	5.18
Z1-P15-B1 S	5.6	4.9	89.6	0.39	252	0.28	243	9.52	0.77	0.32	0.03	0.01	0.08	0.03	0.02	1.13	1.34	4.75	5.09
Z1-P15-B1 F	5.1	4.4	90.5	0.33	215	0.28	215	11.63	0.68	0.39	0.04	0.04	0.07	0.02	0.02	1.14	1.27	4.60	5.08
Z1-P15-B2 S	4.8	5.1	90.1	0.30	243	0.26	205	7.69	0.70	0.35	0.03	0.02	0.09	0.02	0.02	1.10	1.23	4.65	5.11
Z1-P15-B2 F	7.1	5.1	87.8	0.27	233	0.29	233	8.01	0.88	0.54	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	1.49	1.60	4.90	5.21
Z1-P16-B1 S	5.8	5.1	89.2	0.34	271	0.34	215	6.99	0.74	0.44	0.04	0.01	0.12	0.01	0.02	1.23	1.43	4.65	5.02
Z1-P16-B1 F	5.8	5.2	89.0	0.33	261	0.42	327	9.27	1.04	0.88	0.08	0.01	0.05	0.00	0.00	2.01	2.09	5.30	5.59
Z1-P16-B2 S	6.6	4.9	88.5	0.30	271	0.32	261	6.15	0.85	0.45	0.03	0.01	0.08	0.01	0.03	1.34	1.55	4.65	4.88
Z1-P16-B2 F	8.1	4.6	87.2	0.29	252	0.37	299	8.52	0.96	0.87	0.07	0.01	0.03	0.00	0.00	1.90	2.13	5.55	5.67
Z1-P17-B1 S	6.3	4.6	89.0	0.25	215	0.26	187	5.03	0.46	0.28	0.04	0.01	0.09	0.02	0.02	0.78	1.03	4.45	4.92
Z1-P17-B1 F	7.7	3.5	88.8	0.29	224	0.27	205	5.69	0.58	0.35	0.05	0.02	0.08	0.02	0.02	1.00	1.23	4.70	5.02
Z1-P17-B2 S	7.9	4.6	87.5	0.24	215	0.24	196	7.23	0.35	0.25	0.03	0.01	0.08	0.04	0.04	0.63	0.92	4.30	4.76
Z1-P17-B2 F	8.3	4.3	87.4	0.31	215	0.28	224	7.12	0.42	0.34	0.05	0.01	0.06	0.04	0.03	0.82	1.11	4.45	4.81

Annexe 11c : Caractéristiques physico-chimiques des sols de la campagne d'essais en milieu paysan (1997), zone de Nioro - Horizon 0-10 cm

Placette	Granulométrie			Matière organique (C et N)				Passimilable Après campagne mg kg ⁻¹	Complexe d'échange après campagne (cmol kg ⁻¹)								pH		
	Argiles 0-2 µm	Limons fins 2-20 µm	Sables 20-2000 µm	Avant campagne Ct %	Après campagne Nt mg kg ⁻¹	Avant campagne Ct %	Après campagne Nt mg kg ⁻¹		Ca	Mg	K	Na	Mn	Al	H	S	CEC	Après campagne pH _{KCl}	pH _{eau}
Z1-P18-B1 S	7.6	4.0	88.4	0.33	261	0.33	280	7.87	1.09	0.58	0.06	0.01	0.05	0.01	0.01	1.75	1.93	4.80	5.24
Z1-P18-B1 F	7.7	4.3	88.0	0.35	261	0.37	299	9.83	1.06	0.41	0.04	0.02	0.04	0.01	0.02	1.53	1.72	5.05	5.10
Z1-P18-B2 S	8.0	4.5	87.5	0.33	243	0.36	252	5.30	1.07	0.37	0.03	0.02	0.07	0.02	0.03	1.48	1.70	4.60	4.89
Z1-P18-B2 F	7.2	4.8	88.0	0.33	252	0.43	327	10.83	1.23	0.93	0.09	0.01	0.03	0.01	0.00	2.26	2.46	5.70	5.86
Z1-P19-B1 S	9.8	5.2	85.0	0.34	289	0.39	345	7.57	1.17	0.93	0.11	0.02	0.02	0.00	0.01	2.23	2.42	4.75	5.20
Z1-P19-B1 F	7.4	5.5	87.1	0.36	289	0.41	336	7.09	0.96	0.54	0.04	0.01	0.08	0.01	0.01	1.55	1.78	4.90	5.34
Z1-P19-B2 S	9.6	5.5	84.8	0.39	308	0.44	299	5.51	1.00	0.59	0.05	0.01	0.07	0.01	0.02	1.66	1.93	4.50	4.95
Z1-P19-B2 F	10.9	5.0	84.1	0.32	280	0.36	327	6.82	0.74	0.40	0.03	0.01	0.07	0.02	0.01	1.18	1.41	4.70	5.19
Z1-P20-B1 S	8.9	4.5	86.5	0.32	271	0.30	261	5.36	0.78	0.56	0.05	0.01	0.05	0.02	0.02	1.40	1.65	4.50	5.01
Z1-P20-B1 F	9.4	4.5	86.1	0.31	261	0.34	289	10.61	0.80	0.37	0.04	0.01	0.05	0.02	0.01	1.21	1.41	4.75	5.14
Z1-P20-B2 S	10.4	4.5	85.2	0.34	261	0.33	271	8.15	0.83	0.63	0.08	0.02	0.04	0.01	0.02	1.56	1.77	4.60	5.06
Z1-P20-B2 F	10.1	4.2	85.7	0.33	261	0.43	355	8.27	0.85	0.44	0.03	0.02	0.07	0.01	0.00	1.34	1.62	5.35	5.72
Z1-P21-B1 S	12.3	8.1	79.6	0.37	299	0.42	364	24.23	0.73	0.58	0.06	0.02	0.07	0.02	0.03	1.38	1.58	4.40	4.86
Z1-P21-B1 F	15.1	6.9	78.0	0.32	280	0.36	336	13.22	0.57	0.28	0.04	0.02	0.12	0.07	0.05	0.91	1.27	4.15	4.61
Z1-P21-B2 S	10.5	7.3	82.2	0.33	280	0.34	280	12.09	0.46	0.20	0.03	0.01	0.09	0.10	0.06	0.70	1.09	4.10	4.54
Z1-P21-B2 F	11.6	6.2	82.2	0.33	252	0.33	289	10.25	0.54	0.41	0.05	0.01	0.06	0.03	0.03	1.00	1.26	4.40	4.88
Z1-P23-B1 S	10.7	6.8	82.5	0.42	308	0.49	392	5.72	1.95	0.74	0.13	0.02	0.03	0.00	0.00	2.83	3.00	5.50	5.83
Z1-P23-B1 F	9.0	6.1	85.0	0.40	317	0.55	401	5.16	2.20	0.92	0.14	0.02	0.03	0.00	0.00	3.28	3.41	5.60	5.94
Z1-P23-B2 S	9.1	3.3	87.6	0.36	308	0.35	308	8.54	1.52	0.66	0.14	0.01	0.01	0.00	0.00	2.33	2.48	5.90	6.14
Z1-P23-B2 F	8.1	3.7	88.1	0.33	271	0.43	383	5.94	1.69	0.83	0.15	0.01	0.01	0.01	0.00	2.68	2.79	6.05	6.24
Z1-P24-B1 S	10.2	5.3	84.5	0.37	280	0.44	317	5.71	1.12	0.56	0.05	0.03	0.10	0.01	0.02	1.76	1.89	4.70	5.08
Z1-P24-B1 F	10.1	5.8	84.1	0.37	280	0.45	327	5.66	1.13	0.60	0.03	0.02	0.07	0.01	0.01	1.78	2.02	4.80	5.23
Z1-P24-B2 S	10.6	6.0	83.4	0.36	280	0.43	308	5.21	1.15	0.60	0.03	0.01	0.07	0.01	0.02	1.80	2.01	4.60	5.09
Z1-P24-B2 F	12.2	6.9	80.9	0.35	289	0.45	345	6.86	1.10	0.53	0.03	0.02	0.07	0.02	0.03	1.69	1.92	4.65	4.86
Z1-P25-B1 S	11.1	7.0	81.9	0.42	317	0.44	336	6.87	1.14	0.57	0.04	0.02	0.07	0.01	0.02	1.78	2.03	5.00	5.08
Z1-P25-B1 F	12.2	6.6	81.2	0.41	308	0.44	327	5.83	1.19	0.67	0.04	0.01	0.09	0.01	0.01	1.91	2.14	4.75	5.28
Z1-P25-B2 S	9.8	5.3	84.8	0.33	280	0.40	345	6.57	1.15	0.63	0.05	0.02	0.10	0.01	0.02	1.86	2.11	5.05	5.03
Z1-P25-B2 F	9.8	4.6	85.6	0.35	308	0.49	457	7.03	1.06	0.72	0.06	0.01	0.07	0.01	0.01	1.85	2.00	5.55	5.27

Annexe 12 : Caractéristiques physico-chimiques des sols de la campagne d'essais en milieu paysan (1997), zone de Bambeï - Horizon 0-10 cm

Placette	Granulométrie			Matière organique (C et N)				Passimilable Après campagne mg kg ⁻¹	Complexe d'échange après campagne (cmol kg ⁻¹)								pH		
	Argiles	Limons fins	Sables	Avant campagne		Après campagne			Ca	Mg	K	Na	Mn	Al	H	S	CEC	pH _{CaCl2}	pH _{eau}
	0-2 µm	2-20 µm	20-2000 µm	Ct %	Nt mg kg ⁻¹	Ct %	Nt mg kg ⁻¹												
Z2-P5-B1 S	6.2	2.3	91.5	0.22	205	0.22	196	12.49	1.35	1.08	0.06	0.02	0.03	0.00	0.00	2.51	2.64	5.55	5.78
Z2-P5-B1 F	6.0	1.5	92.5	0.22	205	0.23	205	16.07	1.84	0.86	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	2.76	2.86	5.70	5.95
Z2-P5-B2 S	5.5	2.8	91.7	0.20	187	0.20	177	6.97	2.21	0.91	0.06	0.02	0.01	0.01	0.00	3.20	3.29	5.15	5.74
Z2-P5-B2 F	6.7	1.5	91.8	0.20	177	0.20	177	12.34	1.80	0.88	0.13	0.02	0.01	0.01	0.00	2.83	2.98	5.30	5.70
Z2-P12-B1 S	4.0	1.5	94.4	0.16	177	0.17	159	8.68	2.31	1.13	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	3.53	3.63	5.35	5.84
Z2-P12-B1 F	3.5	1.0	95.5	0.15	187	0.18	168	10.05	1.86	0.98	0.13	0.04	0.01	0.01	0.00	2.99	3.14	5.40	5.85
Z2-P12-B2 S	3.8	0.5	95.7	0.16	159	0.19	177	6.34	1.48	0.77	0.06	0.02	0.01	0.01	0.00	2.33	2.39	5.10	5.58
Z2-P12-B2 F	4.3	1.0	94.7	0.15	168	0.30	299	11.14	1.89	0.89	0.12	0.03	0.02	0.01	0.01	2.92	3.01	4.95	5.46
Z2-P13-B1 S	9.7	0.8	89.5	0.21	196	0.16	159	8.45	1.03	0.45	0.06	0.01	0.01	0.01	0.00	1.55	1.60	5.20	5.69
Z2-P13-B1 F	7.4	1.5	91.1	0.18	187	0.19	196	20.60	1.05	0.57	0.14	0.01	0.01	0.01	0.00	1.77	1.83	6.15	6.22
Z2-P13-B2 S	5.5	2.3	92.1	0.21	196	0.15	140	8.06	0.94	0.40	0.06	0.02	0.01	0.01	0.01	1.43	1.49	5.05	5.51
Z2-P13-B2 F	7.0	3.0	90.0	0.23	215	0.19	205	15.46	1.25	0.68	0.14	0.02	0.01	0.02	0.00	2.08	2.22	5.65	5.88
Z2-P18-B1 S	6.0	1.0	92.9	0.25	215	0.22	205	4.90	2.10	0.91	0.06	0.02	0.01	0.02	0.00	3.09	3.15	5.50	5.84
Z2-P18-B1 F	3.9	1.8	94.3	0.28	261	0.24	224	10.14	1.83	0.83	0.13	0.05	0.01	0.02	0.00	2.83	3.01	6.30	6.32
Z2-P18-B2 S	9.1	1.5	89.4	0.24	224	0.24	205	5.22	2.50	1.35	0.05	0.02	0.01	0.02	0.01	3.92	4.02	4.75	5.13
Z2-P18-B2 F	7.1	1.5	91.4	0.25	233	0.23	215	11.55	1.80	0.96	0.13	0.03	0.01	0.02	0.00	2.92	3.00	5.40	5.65
Z2-P20-B1 S	6.3	2.0	91.7	0.28	280	0.27	205	17.94	1.98	0.76	0.13	0.02	0.01	0.01	0.00	2.89	2.93	6.45	6.40
Z2-P20-B1 F	6.6	2.0	91.4	0.27	233	0.25	205	11.81	1.79	1.01	0.09	0.05	0.01	0.02	0.00	2.93	2.92	5.35	5.81
Z2-P20-B2 S	5.8	0.8	93.4	0.21	215	0.21	196	9.20	1.46	0.56	0.12	0.03	0.01	0.01	0.00	2.17	2.20	6.20	6.30
Z2-P20-B2 F	5.8	1.5	92.7	0.23	233	0.24	233	13.15	1.71	0.69	0.13	0.02	0.01	0.01	0.00	2.55	2.66	6.25	6.27
Z2-P21-B1 S	8.6	1.3	90.2	0.29	261	0.26	252	10.57	2.44	1.57	0.10	0.02	0.02	0.00	0.00	4.12	4.19	5.40	5.98
Z2-P21-B1 F	6.6	1.0	92.3	0.25	224	0.27	252	18.11	1.69	1.08	0.13	0.01	0.01	0.01	0.00	2.92	3.05	4.80	6.21
Z2-P21-B2 S	7.7	1.3	91.1	0.36	299	0.37	280	17.07	2.63	1.39	0.10	0.01	0.01	0.01	0.00	4.14	4.28	4.50	5.77
Z2-P21-B2 F	10.6	3.6	85.7	0.53	383	0.54	411	28.11	2.90	1.74	0.12	0.03	0.01	0.01	0.00	4.80	4.92	4.90	6.04
Z2-P24-B1 S	5.8	2.0	92.2	0.23	224	0.24	196	7.65	1.92	0.88	0.08	0.02	0.01	0.01	0.00	2.89	3.01	5.00	5.89
Z2-P24-B1 F	10.4	2.1	87.6	0.23	187	0.27	215	10.90	1.91	0.93	0.13	0.02	0.01	0.01	0.00	2.99	3.12	5.20	6.04
Z2-P24-B2 S	5.1	1.5	93.4	0.27	271	0.24	233	9.45	1.76	0.92	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	2.80	2.89	5.40	6.14
Z2-P24-B2 F	5.6	1.0	93.4	0.24	243	0.27	233	13.28	1.64	0.82	0.11	0.02	0.01	0.01	0.00	2.59	2.65	5.55	6.18

Annexe 13a : Analyses des différents fumiers et composts provenant du milieu paysan et de la station de Bambey

Placette	Quantité épandue estimée (MS)				Nature					Composition (teneurs)								
	Apport	MO	MO	MO+	fraction	fraction	equidés	bovins	ovins +	N	P	K	Ca	Mg	C	cendres	Silice	C/N
	/placette	seule	seule	silice	<2 mm	grossière	%	%	caprins									
Z1-P1-B1	1 charrette	167.9	21.8	32.6	33.7	42.4	23.2	0.0	0.8	1.395	0.189	0.662	0.805	0.765	36.3	36.7	33.1	26.0
Z1-P1-B2	1 charrette	167.9	21.8	34.9	24.5	37.7	25.3	12.5	0.0	1.385	0.180	0.626	0.825	0.745	31.5	41.1	37.6	22.7
Z1-P2-B1	1 charrette	167.9	21.8	48.1	64.8	30.8	0.0	3.0	1.5	1.154	0.114	0.616	0.712	0.511	26.3	57.5	54.7	22.8
Z1-P2-B2	1 charrette	167.9	21.8	33.8	49.2	40.3	8.8	0.0	1.6	1.144	0.135	0.596	0.710	0.587	32.3	38.4	35.4	28.2
Z1-P3-B1	1 charrette	167.9	21.8	56.2	62.7	28.9	8.5	0.0	0.0	0.722	0.110	0.526	0.401	0.395	18.2	63.3	61.2	25.1
Z1-P3-B2	1 charrette	167.9	21.8	30.1	12.1	14.3	47.5	26.1	0.0	1.395	0.188	0.314	0.816	0.725	38.4	30.7	27.5	27.5
Z1-P4-B1	1 charrette	167.9	21.8	35.8	24.9	34.5	27.1	12.4	1.2	1.194	0.159	0.512	0.620	0.576	31.8	41.9	39.1	26.6
Z1-P4-B2	1 charrette	167.9	21.8	36.6	26.2	34.9	38.9	0.0	0.0	1.134	0.156	0.747	0.668	0.525	33.3	43.6	40.5	29.4
Z1-P6-B1	1 charrette	167.9	21.8	37.4	27.5	38.1	17.1	16.8	0.4	1.244	0.229	1.164	1.089	0.621	26.6	46.2	41.7	21.4
Z1-P6-B2	1 charrette	167.9	21.8	31.3	30.1	21.6	19.9	26.9	1.5	1.284	0.171	0.426	0.793	0.548	32.8	33.2	30.3	25.5
Z1-P7-B1	1 charrette	167.9	21.8	31.4	40.8	43.2	16.0	0.0	0.0	1.214	0.170	1.350	0.839	0.498	32.0	34.7	30.6	26.4
Z1-P7-B2	1 charrette	167.9	21.8	49.0	28.5	35.5	36.0	0.0	0.0	1.003	0.114	1.887	0.924	0.475	19.1	60.1	55.5	19.1
Z1-P8-B1	1 charrette	167.9	21.8	39.2	45.1	53.1	1.8	0.0	0.0	1.094	0.131	1.365	0.958	0.585	27.3	48.6	44.3	24.9
Z1-P8-B2	1 charrette	167.9	21.8	44.6	44.4	33.4	0.0	20.4	1.9	1.064	0.142	0.932	0.917	0.501	23.3	54.7	51.2	21.9
Z1-P9-B1	1 charrette	167.9	21.8	56.8	61.5	32.8	4.9	0.0	0.7	0.672	0.086	0.463	0.485	0.354	17.4	63.7	61.6	25.8
Z1-P9-B2	1 charrette	167.9	21.8	48.7	47.4	37.2	15.4	0.0	0.0	0.793	0.121	0.403	0.532	0.275	27.9	57.2	55.2	35.2
Z1-P10-B1	1 charrette	167.9	21.8	42.0	58.7	23.2	8.2	9.6	0.4	0.873	0.102	0.487	0.598	0.430	23.3	50.5	48.1	26.7
Z1-P10-B2	1 charrette	167.9	21.8	35.5	39.0	32.1	15.9	13.0	0.0	1.244	0.141	0.440	0.641	0.626	32.9	41.4	38.6	26.4
Z1-P11-B1	1 charrette	167.9	21.8	32.3	36.5	47.9	15.2	0.0	0.5	1.054	0.126	0.606	0.565	0.486	33.3	35.0	32.4	31.6
Z1-P11-B2	1 charrette	167.9	21.8	30.1	28.5	41.2	30.3	0.0	0.0	1.164	0.140	0.613	0.581	0.578	36.2	30.4	27.5	31.1
Z1-P13-B1	1 charrette	167.9	21.8	29.3	32.2	53.8	13.6	0.0	0.5	1.325	0.156	0.985	0.863	0.588	36.7	29.4	25.7	27.7
Z1-P13-B2	1 charrette	167.9	21.8	28.8	28.1	58.8	12.9	0.0	0.1	1.315	0.154	1.018	0.861	0.576	37.7	28.1	24.3	28.6
Z1-P14-B1	1 charrette	167.9	21.8	29.6	9.4	24.4	65.1	0.0	1.1	1.204	0.146	0.609	0.778	0.516	37.1	29.3	26.2	30.8
Z1-P14-B2	1 charrette	167.9	21.8	33.3	40.0	35.0	0.0	25.0	0.0	1.134	0.144	0.695	0.726	0.605	32.3	37.8	34.6	28.5
Z1-P15-B1	1 charrette	167.9	21.8	47.0	65.8	26.7	7.3	0.0	0.2	0.843	0.103	0.309	0.555	0.360	29.3	55.6	53.6	34.7
Z1-P15-B2	1 charrette	167.9	21.8	75.8	77.8	21.5	0.6	0.0	0.2	0.411	0.072	0.221	0.401	0.246	10.9	72.6	71.2	26.4
Z1-P16-B1	1 charrette	167.9	21.8	27.1	8.4	16.2	47.2	28.2	0.0	1.194	0.161	0.299	0.681	0.643	40.3	22.3	19.6	33.8
Z1-P16-B2	1 charrette	167.9	21.8	28.3	23.6	21.2	54.2	0.0	1.0	1.264	0.179	0.337	0.663	0.646	37.6	25.9	23.0	29.8
Z1-P17-B1	1 charrette	167.9	21.8	35.7	58.2	33.2	8.4	0.0	0.2	0.863	0.125	0.289	0.529	0.423	28.5	41.0	38.9	33.0
Z1-P17-B2	1 charrette	167.9	21.8	34.1	48.9	25.4	25.4	0.0	0.2	1.034	0.166	0.362	0.673	0.528	32.6	38.6	36.0	31.6
Z1-P18-B1	1 charrette	167.9	21.8	28.8	12.6	24.5	27.3	35.5	0.0	1.310	0.150	0.267	0.800	0.552	36.8	27.0	24.3	28.1
Z1-P18-B2	1 charrette	167.9	21.8	33.2	40.7	31.4	27.0	0.0	0.9	1.180	0.169	0.386	0.738	0.657	31.4	37.4	34.4	26.6

Annexe 13b : Analyses des différents fumiers et composts provenant du milieu paysan et de la station de Bambey (suite)

Placette	Quantité épandue estimée (MS)				Nature					Composition (teneurs)								
	Apport	MO	MO	MO+silic	fraction	fraction	equidés	bovins	ovins +	N	P	K	Ca	Mg	C	cendres	Silice	C/N
	/placette	kg 77m ⁻²	t ha ⁻¹	Qté t ha ⁻¹	<2 mm	grossière	%	%	caprins									
Z1-P19-B1	3/4 charrette	125.9	16.4	33.7	50.2	45.1	4.7	0.0	0.0	0.970	0.137	0.543	0.452	0.450	23.0	53.9	51.5	23.7
Z1-P19-B2	3/4 charrette	125.9	16.4	40.8	56.0	42.0	1.9	0.0	0.2	1.000	0.119	0.660	0.500	0.509	19.5	62.5	59.9	19.5
Z1-P20-B1	3/4 charrette	125.9	16.4	60.8	50.4	40.4	9.1	0.0	0.1	0.760	0.092	0.421	0.445	0.406	11.3	75.1	73.1	14.9
Z1-P20-B2	3/4 charrette	125.9	16.4	44.0	45.6	19.5	35.0	0.0	0.0	0.940	0.124	1.117	0.870	0.751	15.5	67.0	62.9	16.5
Z1-P21-B1	1/2 charrette	83.9	10.9	36.2	47.3	40.7	12.0	0.0	0.0	0.750	0.112	0.877	0.763	0.665	13.1	73.4	69.9	17.4
Z1-P21-B2	1/2 charrette	83.9	10.9	30.3	49.2	50.8	0.0	0.0	0.0	0.960	0.152	1.243	1.192	0.876	14.6	69.0	64.1	15.2
Z1-P23-B1	1/2 charrette	83.9	10.9	14.6	7.7	3.8	7.7	60.6	20.2	1.630	0.284	0.614	1.252	0.548	37.3	29.2	25.2	22.9
Z1-P23-B2	1/2 charrette	83.9	10.9	16.3	23.1	29.2	40.2	0.0	7.5	1.550	0.319	0.549	1.228	0.734	30.5	37.3	33.0	19.7
Z1-P24-B1	1 charrette	167.9	21.8	105.3	82.9	15.6	1.2	0.0	0.3	0.540	0.066	0.254	0.348	0.225	9.7	80.6	79.3	18.0
Z1-P24-B2	1 charrette	167.9	21.8	72.6	76.3	20.4	3.1	0.0	0.2	0.700	0.086	0.359	0.474	0.295	14.1	71.7	70.0	20.1
Z1-P25-B1	1 charrette	167.9	21.8	31.1	16.3	28.2	55.6	0.0	0.0	1.270	0.159	0.488	0.826	0.837	33.9	33.5	30.0	26.7
Z1-P25-B2	1 charrette	167.9	21.8	28.9	17.2	56.7	26.1	0.0	0.0	1.590	0.185	0.940	1.371	1.219	36.8	29.9	24.4	23.1
Z2-P5-B1	1 charrette	167.9	21.8	44.1	43.5	44.0	12.5	0.0	0.0	0.910	0.366	0.655	0.666	0.365	27.9	53.7	50.5	30.6
Z2-P5-B2	1 charrette	167.9	21.8	39.4	32.4	50.5	16.0	0.0	1.1	0.960	0.293	0.626	0.661	0.461	27.5	47.8	44.7	28.6
Z2-P12-B1	1 charrette	167.9	21.8	49.5	45.9	23.1	30.5	0.0	0.5	0.690	0.165	0.324	0.569	0.350	21.8	58.1	55.9	31.6
Z2-P12-B2	1 charrette	167.9	21.8	44.9	38.8	25.9	33.6	0.0	1.7	0.760	0.189	0.356	0.634	0.360	23.3	53.7	51.4	30.6
Z2-P13-B1	15 bassines	96.9	12.6	50.7	59.5	21.0	3.1	0.0	16.4	0.470	0.116	0.282	0.639	0.215	11.8	77.0	75.2	25.1
Z2-P13-B2	15 bassines	96.9	12.6	34.6	44.2	33.0	6.9	0.0	16.0	0.700	0.169	0.375	0.837	0.309	17.6	66.1	63.6	25.2
Z2-P18-B1	1 charrette	167.9	21.8	44.2	43.7	22.0	6.8	0.0	27.4	1.030	0.289	0.685	1.914	0.624	23.1	55.9	50.7	22.4
Z2-P18-B2	1 charrette	167.9	21.8	42.3	39.3	30.4	5.2	0.0	25.1	1.020	0.285	0.667	1.828	0.604	23.7	53.5	48.4	23.3
Z2-P20-B1	10 bassines	64.6	8.4	27.9	60.9	36.6	0.0	0.0	2.5	0.610	0.147	0.380	1.070	0.283	14.3	72.7	69.9	23.4
Z2-P20-B2	10 bassines	64.6	8.4	13.2	25.2	22.1	4.4	0.0	48.3	1.490	0.283	0.687	1.829	0.593	32.1	41.3	36.3	21.5
Z2-P21-B1	15 bassines	96.9	12.6	24.1	45.6	37.2	15.6	0.0	1.6	0.960	0.211	0.534	0.798	0.470	23.9	50.8	47.8	24.9
Z2-P21-B2	15 bassines	96.9	12.6	28.9	59.0	35.6	4.4	0.0	1.0	0.920	0.191	0.636	0.804	0.497	20.2	59.6	56.5	21.9
Z2-P24-B1	Parcage	80.8	10.5	20.8	20.2	30.9	47.4	0.0	1.5	0.930	0.196	0.316	0.935	0.481	26.4	52.6	49.6	28.4
Z2-P24-B2	Parcage	80.8	10.5	15.7	10.2	4.1	71.9	12.9	1.0	1.110	0.267	0.393	1.148	0.496	34.1	36.8	33.3	30.7
CRMO 1996 Fumier			6.0	8.5						1.980	0.471	2.301	2.630	0.948	30.1	38.2	29.1	15.2
CRMO 1996 Compost			6.0	13.8						1.730	0.497	1.284	2.484	0.855	19.6	64.2	56.7	11.3
CRMO 1997 Fumier			6.0	10.5						1.780	0.406	1.549	1.880	0.768	24.2	49.5	42.8	13.6
CRMO 1997 Compost			6.0	23.3						0.830	0.299	0.541	1.582	0.583	8.2	78.7	74.2	9.9
<i>Gliricidia sepium</i> (feuilles)			3.0	3.1						4.050	0.213	0.763	1.853	1.286	46.1	9.7	3.6	11.4

Annexe 14 : Quantités d'éléments apportés à l'ha par les fumiers épandus en milieu paysan

Placette	Apport à la parcelle					
	N	P	K	Ca	Mg	C
	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	t ha ⁻¹
Z1-P1-B1	454.5	61.6	215.7	262.3	249.2	11.8
Z1-P1-B2	483.8	62.9	218.7	288.2	260.3	11.0
Z1-P2-B1	555.1	54.8	296.3	342.5	245.8	12.6
Z1-P2-B2	386.3	45.6	201.2	239.7	198.2	10.9
Z1-P3-B1	405.5	61.8	295.4	225.2	221.8	10.2
Z1-P3-B2	419.6	56.5	94.4	245.4	218.1	11.6
Z1-P4-B1	427.3	56.9	183.2	221.9	206.1	11.4
Z1-P4-B2	415.5	57.2	273.7	244.8	192.4	12.2
Z1-P6-B1	465.2	85.6	435.3	407.3	232.2	9.9
Z1-P6-B2	401.4	53.5	133.2	247.9	171.3	10.2
Z1-P7-B1	381.7	53.4	424.4	263.8	156.6	10.1
Z1-P7-B2	491.3	55.8	924.3	452.6	232.7	9.4
Z1-P8-B1	428.4	51.3	534.6	375.2	229.1	10.7
Z1-P8-B2	475.0	63.4	416.1	409.4	223.7	10.4
Z1-P9-B1	382.0	48.9	263.2	275.7	201.2	9.9
Z1-P9-B2	386.3	58.9	196.3	259.1	134.0	13.6
Z1-P10-B1	366.8	42.9	204.6	251.3	180.7	9.8
Z1-P10-B2	441.6	50.0	156.2	227.5	222.2	11.7
Z1-P11-B1	340.1	40.7	195.5	182.3	156.8	10.7
Z1-P11-B2	350.3	42.1	184.5	174.9	173.9	10.9
Z1-P13-B1	388.6	45.8	288.9	253.1	172.4	10.8
Z1-P13-B2	379.0	44.4	293.4	248.1	166.0	10.9
Z1-P14-B1	355.9	43.2	180.0	230.0	152.5	11.0
Z1-P14-B2	377.9	48.0	231.6	241.9	201.6	10.8
Z1-P15-B1	396.1	48.4	145.2	260.8	169.2	13.8
Z1-P15-B2	311.6	54.6	167.5	304.0	186.5	8.2
Z1-P16-B1	323.8	43.7	81.1	184.7	174.4	10.9
Z1-P16-B2	358.1	50.7	95.5	187.9	183.0	10.7
Z1-P17-B1	308.1	44.6	103.2	188.9	151.0	10.2
Z1-P17-B2	352.2	56.5	123.3	229.2	179.8	11.1
Z1-P18-B1	377.4	43.2	76.9	230.5	159.0	10.6
Z1-P18-B2	392.2	56.2	128.3	245.3	218.4	10.4
Z1-P19-B1	327.1	46.2	183.1	152.4	151.8	7.7
Z1-P19-B2	407.7	48.5	269.1	203.8	207.5	7.9
Z1-P20-B1	462.1	55.9	256.0	270.6	246.9	6.9
Z1-P20-B2	414.0	54.6	491.9	383.1	330.7	6.8
Z1-P21-B1	271.6	40.6	317.6	276.3	240.8	4.7
Z1-P21-B2	291.2	46.1	377.0	361.5	265.7	4.4
Z1-P23-B1	237.5	41.4	89.5	182.5	79.9	5.4
Z1-P23-B2	252.2	51.9	89.3	199.8	119.4	5.0
Z1-P24-B1	568.9	69.5	267.6	366.6	237.0	10.3
Z1-P24-B2	508.0	62.4	260.6	344.0	214.1	10.2
Z1-P25-B1	395.4	49.5	151.9	257.2	260.6	10.6
Z1-P25-B2	458.8	53.4	271.3	395.6	351.8	10.6
Z2-P5-B1	401.0	161.3	288.6	293.5	160.8	12.3
Z2-P5-B2	378.5	115.5	246.8	260.6	181.8	10.8
Z2-P12-B1	341.3	81.6	160.2	281.4	173.1	10.8
Z2-P12-B2	340.9	84.8	159.7	284.4	161.5	10.4
Z2-P13-B1	238.1	58.8	142.9	323.8	108.9	6.0
Z2-P13-B2	241.9	58.4	129.6	289.2	106.8	6.1
Z2-P18-B1	455.7	127.9	303.1	846.8	276.1	10.2
Z2-P18-B2	431.4	120.5	282.1	773.1	255.4	10.0
Z2-P20-B1	170.0	41.0	105.9	298.2	78.9	4.0
Z2-P20-B2	196.3	37.3	90.5	241.0	78.1	4.2
Z2-P21-B1	231.2	50.8	128.6	192.2	113.2	5.8
Z2-P21-B2	266.1	55.2	183.9	232.5	143.7	5.8
Z2-P24-B1	193.7	40.8	65.8	194.7	100.2	5.5
Z2-P24-B2	174.5	42.0	61.8	180.5	78.0	5.4
RMO 96 Fumier	167.6	39.9	194.8	222.7	80.3	2.5
RMO 96 Compost	239.5	68.8	177.8	343.9	118.4	2.7
RMO 97 Fumier	186.8	42.6	162.6	197.3	80.6	2.5
RMO 97 Compost	193.0	69.5	125.8	368.0	135.6	1.9
<i>Gliricidia sepium</i>	126.0	6.6	23.7	57.7	40.0	1.4

Annexe 15a : Données culturales collectées au stade fin montaison-début épiaison et à la récolte lors de la campagne d'essais en milieu paysan (1997), zone de Nioro.

Placette	FIN MONTAISON-DEBUT EPIAISON					RECOLTE												
	Talles/ poquet	Long. maître brin (cm)	MS totale kg ha ⁻¹	Immobilisations N P		Nombre d'épis (ha)			Composantes du rendement (kg MS ha ⁻¹)					Exportations minérales globales (kg ha ⁻¹)				
				kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	Fertiles	Infertiles	Total	Epis	Grains	Rachis + glumes	Paille	MS totale	N	P	K	Ca	Mg
Z1-P1-B1 S	1	19	192	3.7	0.3	-	-	-	-	-	-	288	288	4.5	0.3	3.1	0.9	1.7
Z1-P1-B1 F	3	101	768	11.5	1.1	13 200	4 400	17 600	418	252	165	1 186	1 604	16.9	2.4	25.3	2.6	7.5
Z1-P1-B2 S	2	69	384	7.7	0.4	-	-	-	-	-	-	180	180	3.1	0.2	1.3	0.8	1.6
Z1-P1-B2 F	5	202	2 112	30.9	3.1	28 800	1 600	30 400	766	474	292	1 340	2 106	23.1	3.3	26.7	2.8	5.9
Z1-P2-B1 S	5	185	1 566	21.2	1.6	91 600	3 600	95 200	1 445	890	555	1 521	2 966	47.4	6.0	56.8	4.0	11.1
Z1-P2-B1 F	7	169	2 088	40.4	3.8	67 600	1 600	69 200	2 244	1 588	656	3 175	5 419	81.6	9.6	43.2	5.5	16.5
Z1-P2-B2 S	5	168	1 218	16.8	1.3	58 400	6 000	64 400	1 705	1 067	638	2 711	4 416	68.4	6.9	54.8	6.9	18.0
Z1-P2-B2 F	7	239	3 654	50.6	4.8	90 800	-	90 800	3 125	2 159	966	4 318	7 443	94.8	20.5	168.5	10.4	27.2
Z1-P3-B1 S	4	108	712	12.7	0.7	10 000	8 000	18 000	288	153	135	829	1 117	18.9	1.7	6.9	2.6	6.2
Z1-P3-B1 F	6	221	2 136	31.4	2.6	70 000	-	70 000	2 040	1 346	694	3 740	5 780	82.2	9.0	99.6	6.6	21.1
Z1-P3-B2 S	4	126	534	8.1	0.6	1 200	2 800	4 000	72	36	36	216	288	3.5	0.2	3.1	0.7	1.3
Z1-P3-B2 F	7	189	2 314	33.7	2.5	38 800	-	38 800	1 253	787	466	1 640	2 893	36.4	5.1	49.3	5.7	11.3
Z1-P4-B1 S	5	196	1 566	18.8	1.4	65 200	2 000	67 200	1 700	1 144	556	1 734	3 434	38.9	6.8	31.2	3.5	10.7
Z1-P4-B1 F	7	198	2 436	35.0	3.5	42 800	-	42 800	1 462	952	510	2 474	3 936	51.9	8.9	89.3	3.6	13.4
Z1-P4-B2 S	6	188	1 044	15.0	0.7	48 000	6 400	54 400	1 044	596	448	1 548	2 592	36.2	4.2	49.5	3.0	9.6
Z1-P4-B2 F	7	212	2 610	33.2	2.3	64 400	-	64 400	1 904	1 326	578	2 550	4 454	53.7	9.8	82.6	5.3	17.9
Z1-P6-B1 S	5	61	522	11.7	0.5	-	-	-	-	-	-	108	108	1.5	0.1	0.8	0.4	0.6
Z1-P6-B1 F	7	236	4 002	72.1	5.1	60 000	800	60 800	2 040	1 287	753	5 134	7 174	89.3	9.5	125.3	9.7	29.3
Z1-P6-B2 S	3	111	870	14.2	0.7	34 800	1 600	36 400	1 322	810	512	1 215	2 537	43.4	4.8	18.5	3.9	9.2
Z1-P6-B2 F	3	165	1 392	21.8	1.2	79 200	3 200	82 400	2 554	1 501	1 053	2 852	5 405	79.5	9.1	54.4	7.0	19.2
Z1-P7-B1 S	4	168	1 218	14.4	0.9	26 800	-	26 800	1 044	652	392	1 008	2 052	34.8	3.7	15.8	2.8	6.9
Z1-P7-B1 F	3	222	2 088	20.7	2.4	45 600	-	45 600	1 322	870	452	1 728	3 050	34.5	5.7	66.2	3.8	7.1
Z1-P7-B2 S	3	230	1 914	18.7	1.5	20 800	800	21 600	905	668	237	900	1 805	20.8	3.0	40.8	2.3	3.6
Z1-P7-B2 F	7	244	3 828	50.8	5.0	16 800	400	17 200	905	630	275	1 404	2 309	28.8	3.7	54.2	2.2	4.2
Z1-P8-B1 S	7	206	2 088	33.8	2.4	43 200	11 200	54 400	1 428	879	549	1 840	3 268	44.8	5.5	79.3	4.0	7.2
Z1-P8-B1 F	6	211	2 610	36.1	3.3	48 000	9 200	57 200	2 176	1 337	839	2 604	4 780	74.3	11.9	120.4	10.7	16.0
Z1-P8-B2 S	3	148	870	15.5	1.1	12 800	16 000	28 800	704	363	341	1 384	2 088	29.9	3.3	43.2	4.8	6.0
Z1-P8-B2 F	7	206	2 610	43.1	3.4	28 000	8 400	36 400	986	551	434	1 436	2 422	34.5	3.9	46.1	3.4	6.0
Z1-P9-B1 S	5	159	1 408	26.6	1.7	15 200	3 200	18 400	487	358	130	646	1 133	19.5	1.5	24.6	1.8	3.1
Z1-P9-B1 F	5	238	2 640	38.8	2.9	53 200	2 400	55 600	1 972	1 399	573	3 161	5 133	62.3	7.3	141.5	9.9	15.8
Z1-P9-B2 S	3	152	528	9.0	0.5	12 000	2 000	14 000	278	190	88	522	800	16.0	1.1	13.4	2.0	3.7
Z1-P9-B2 F	8	192	2 288	40.6	2.9	48 000	2 400	50 400	1 428	873	555	1 921	3 349	51.4	4.4	76.2	7.9	17.3

Annexe 15b : Données culturales collectées au stade fin montaison-début épiaison et à la récolte lors de la campagne d'essais en milieu paysan (1997), zone de Nioro.

Placette	FIN MONTAISON-DEBUT EPIAISON					RECOLTE												
	Talles/ poquet	Long. maître brin (cm)	MS totale kg ha ⁻¹	Immobilisations		Nombre d'épis (ha)			Composantes du rendement (kg MS ha ⁻¹)					Exportations minérales globales (kg ha ⁻¹)				
				N	P	Fertiles	Infertiles	Total	Epis	Grains	Rachis + glumes	Paille	MS totale	N	P	K	Ca	Mg
Z1-P10-B1 S	6	124	540	10.8	0.7	5 600	9 200	14 800	139	49	90	1 524	1 663	32.6	1.7	23.5	6.3	10.7
Z1-P10-B1 F	5	117	900	18.8	1.1	23 600	2 800	26 400	1 044	662	382	2 744	3 788	60.5	4.5	71.8	7.4	12.9
Z1-P10-B2 S	3	23	540	13.7	0.8	-	9 200	9 200	72	19	53	2 268	2 340	45.7	2.7	19.4	8.4	16.1
Z1-P10-B2 F	4	88	720	15.5	0.7	17 200	2 800	20 000	418	313	104	2 228	2 646	35.8	3.0	36.5	5.4	12.7
Z1-P11-B1 S	5	164	1 584	31.4	2.0	21 200	8 000	29 200	696	415	281	1 659	2 355	33.9	2.6	55.8	3.7	7.2
Z1-P11-B1 F	8	231	3 872	53.6	4.1	20 800	1 200	22 000	1 079	729	350	2 360	3 439	38.3	4.2	93.1	5.3	10.7
Z1-P11-B2 S	4	128	880	15.9	0.7	16 400	4 800	21 200	522	353	169	883	1 405	21.9	1.5	33.5	2.0	4.1
Z1-P11-B2 F	4	179	1 760	20.2	1.5	35 600	3 600	39 200	1 322	904	418	2 923	4 245	52.9	4.3	119.3	6.1	12.7
Z1-P13-B1 S	6	197	1 780	22.4	1.3	44 800	-	44 800	1 114	754	360	1 885	2 999	36.9	4.2	34.8	3.7	10.7
Z1-P13-B1 F	8	249	1 958	24.3	2.4	71 600	-	71 600	2 755	2 120	636	4 960	7 715	82.7	11.9	146.0	13.2	24.9
Z1-P13-B2 S	7	209	2 314	38.5	2.6	29 200	-	29 200	1 462	1 064	398	2 659	4 121	47.0	4.2	89.2	7.6	13.3
Z1-P13-B2 F	7	208	3 204	52.4	3.3	35 200	-	35 200	1 879	1 349	530	4 038	5 917	83.2	10.6	116.8	7.2	18.7
Z1-P14-B1 S	3	120	534	9.7	0.5	6 800	7 200	14 000	209	112	96	1 284	1 492	23.7	1.5	14.4	3.8	8.2
Z1-P14-B1 F	2	141	1 246	18.8	1.4	8 000	2 400	10 400	278	205	73	1 847	2 125	31.6	2.2	49.0	4.7	13.0
Z1-P14-B2 S	3	61	356	6.6	0.3	16 800	5 200	22 000	139	84	56	906	1 045	15.1	1.1	9.9	2.1	4.9
Z1-P14-B2 F	4	221	1 958	26.3	3.1	24 000	1 600	25 600	905	614	291	798	1 703	24.2	3.0	26.0	2.2	5.0
Z1-P15-B1 S	8	236	3 480	40.0	2.5	60 800	800	61 600	2 123	1 431	692	2 218	4 340	48.1	6.3	34.8	10.2	18.6
Z1-P15-B1 F	11	246	6 612	95.1	6.2	68 800	-	68 800	2 788	1 925	863	2 550	5 338	62.0	8.6	58.5	10.4	18.9
Z1-P15-B2 S	6	230	2 784	33.1	2.3	56 800	-	56 800	1 705	1 072	633	1 775	3 480	35.0	4.7	32.3	6.7	14.9
Z1-P15-B2 F	7	225	3 306	36.5	2.9	64 000	5 200	69 200	2 380	1 630	750	2 278	4 658	50.7	7.1	49.4	5.9	13.5
Z1-P16-B1 S	8	242	3 654	56.8	3.7	36 400	9 200	45 600	1 357	896	462	1 636	2 994	33.3	3.4	31.0	3.9	9.9
Z1-P16-B1 F	9	241	6 090	88.6	7.3	52 000	-	52 000	2 352	1 630	722	4 076	6 428	78.9	10.4	123.6	13.5	28.6
Z1-P16-B2 S	9	216	3 306	40.7	3.3	60 000	13 200	73 200	2 244	1 440	804	3 192	5 436	62.7	6.3	61.6	5.5	13.6
Z1-P16-B2 F	8	220	3 480	43.3	3.3	66 000	800	66 800	3 192	2 126	1 066	5 740	8 932	124.3	18.2	137.0	12.6	30.1
Z1-P17-B1 S	3	81	528	9.3	0.7	18 400	2 800	21 200	360	197	163	590	950	10.5	1.1	10.9	1.2	2.7
Z1-P17-B1 F	4	134	1 232	17.4	1.6	40 000	2 400	42 400	1 368	878	490	1 731	3 099	29.1	4.8	57.7	3.1	8.7
Z1-P17-B2 S	4	144	528	8.7	0.6	23 200	400	23 600	576	316	260	949	1 525	19.1	1.6	15.7	1.9	4.3
Z1-P17-B2 F	6	240	3 168	33.2	4.0	36 000	1 600	37 600	1 368	958	410	1 915	3 283	35.2	4.9	53.9	7.6	14.0

Annexe 15c : Données culturales collectées au stade fin montaison-début épiaison et à la récolte lors de la campagne d'essais en milieu paysan (1997), zone de Nioro.

Placette	FIN MONTAISON-DEBUT EPIAISON					RECOLTE												
	Talles/ poquet	Long. maître brin (cm)	MS totale kg ha ⁻¹	Immobilisations		Nombre d'épis (ha)			Composantes du rendement (kg MS ha ⁻¹)					Exportations minérales globales (kg ha-1)				
				N	P	Fertiles	Infertiles	Total	Epis	Grains	Rachis + glumes	Paille	MS totale	N	P	K	Ca	Mg
Z1-P18-B1 S	6	191	1 720	21.9	1.7	62 000	400	62 400	1 810	1 189	620	2 252	4 062	46.1	6.5	59.2	8.9	16.7
Z1-P18-B1 F	8	245	5 504	52.4	7.9	75 600	400	76 000	2 992	1 971	1 021	4 386	7 378	78.1	18.1	129.6	12.7	25.8
Z1-P18-B2 S	6	219	1 720	24.3	1.6	41 600	7 200	48 800	1 114	682	431	1 706	2 820	39.6	3.9	25.2	3.9	10.0
Z1-P18-B2 F	7	247	5 676	67.5	6.3	80 000	2 400	82 400	3 740	2 485	1 255	4 829	8 569	120.6	16.5	124.1	8.1	27.2
Z1-P19-B1 S	10	171	1 936	31.4	2.6	39 600	-	39 600	1 800	1 202	598	2 765	4 565	61.4	5.3	35.9	2.9	12.3
Z1-P19-B1 F	6	194	1 936	29.7	2.3	48 000	-	48 000	1 872	1 229	643	2 212	4 084	59.9	6.7	63.0	5.5	14.4
Z1-P19-B2 S	4	134	1 232	22.1	1.6	32 400	-	32 400	1 080	668	412	2 003	3 083	39.0	4.6	22.6	3.6	12.8
Z1-P19-B2 F	8	210	2 464	36.5	3.0	57 200	-	57 200	2 923	2 025	898	4 658	7 581	79.4	10.9	94.0	10.5	29.4
Z1-P20-B1 S	6	205	1 760	21.4	1.1	37 600	2 400	40 000	1 152	608	544	1 582	2 734	34.4	2.8	27.9	3.6	8.4
Z1-P20-B1 F	6	252	3 344	33.7	2.8	76 400	-	76 400	3 264	2 091	1 173	3 944	7 208	88.7	11.0	129.5	8.5	22.3
Z1-P20-B2 S	5	190	1 056	15.8	0.9	33 600	-	33 600	1 152	666	486	1 465	2 617	34.5	3.3	18.4	1.8	5.7
Z1-P20-B2 F	6	257	3 520	42.8	4.7	61 200	-	61 200	3 196	2 136	1 060	3 845	7 041	82.2	12.0	119.1	9.2	23.8
Z1-P21-B1 S	3	191	910	14.0	1.1	80 800	-	80 800	2 160	1 398	762	2 936	5 096	59.6	6.4	47.9	3.8	11.2
Z1-P21-B1 F	6	236	2 184	35.1	3.9	89 600	-	89 600	3 876	2 609	1 267	7 565	11 441	129.1	21.5	176.1	10.4	30.3
Z1-P21-B2 S	3	128	1 092	22.2	1.7	32 800	8 000	40 800	1 080	600	480	1 799	2 879	37.7	5.6	46.8	3.7	8.3
Z1-P21-B2 F	5	235	2 184	33.6	3.4	51 600	-	51 600	2 160	1 474	686	2 160	4 320	60.8	10.0	38.4	3.7	12.5
Z1-P23-B1 S	6	212	2 464	37.2	2.3	57 200	3 200	60 400	2 297	1 472	824	3 239	5 536	73.3	7.8	114.3	5.5	11.7
Z1-P23-B1 F	5	204	1 936	29.7	2.1	61 200	-	61 200	2 366	1 698	669	3 395	5 762	80.3	10.8	147.2	8.5	15.9
Z1-P23-B2 S	5	228	1 584	23.3	1.2	42 000	3 600	45 600	1 740	1 164	576	2 327	4 067	44.7	5.5	85.6	4.4	8.6
Z1-P23-B2 F	7	262	3 520	50.2	3.8	48 000	-	48 000	2 297	1 624	672	4 548	6 845	78.4	17.2	176.8	10.0	20.4
Z1-P24-B1 S	1	49	364	8.5	0.5	1 600	2 800	4 400	76	37	39	149	225	5.0	0.4	1.9	0.5	1.1
Z1-P24-B1 F	6	74	910	19.9	0.9	8 000	1 600	9 600	266	98	168	433	699	13.3	1.1	7.4	1.3	2.9
Z1-P24-B2 S	4	62	546	12.1	0.7	2 800	1 200	4 000	76	47	29	424	500	9.4	0.8	4.8	1.2	2.4
Z1-P24-B2 F	2	98	546	9.7	0.6	2 000	400	2 400	76	30	46	592	668	10.8	0.7	5.5	1.9	4.1
Z1-P25-B1 S	3	199	1 620	22.4	2.2	52 000	3 600	55 600	1 670	1 043	628	2 711	4 382	50.1	6.5	34.5	5.9	16.8
Z1-P25-B1 F	5	104	900	18.7	1.2	49 600	-	49 600	2 646	1 810	836	4 520	7 166	107.8	12.5	84.8	17.2	36.1
Z1-P25-B2 S	2	111	900	16.7	1.1	42 800	400	43 200	905	556	349	1 889	2 794	29.4	3.2	32.4	5.8	10.4
Z1-P25-B2 F	6	227	3 780	49.7	4.5	25 600	2 000	27 600	1 044	645	399	1 934	2 978	39.1	4.3	38.8	6.1	14.1

Annexe 16 : Données culturales collectées à la récolte lors de la campagne d'essais en milieu paysan (1997), zone de Bambeu.

Placette	RECOLTE												
	Nombre d'épis (ha)			Composantes du rendement (kg MS ha ⁻¹)					Exportations minérales globales (kg ha ⁻¹)				
	Fertiles	Infertiles	Total	Epis	Grains	Rachis + glumes	Paille	MS totale	N	P	K	Ca	Mg
Z2-P5-B1 S	12 000	6 000	18 000	451	196	256	1 748	2 200	30.0	3.9	21.3	9.6	14.1
Z2-P5-B1 F	12 000	11 600	23 600	398	174	224	1 488	1 886	24.7	2.7	30.3	5.0	8.1
Z2-P5-B2 S	12 400	10 400	22 800	336	123	213	670	1 006	16.0	2.1	9.3	4.3	6.7
Z2-P5-B2 F	8 400	14 000	22 400	95	95	182	744	1 021	16.5	1.9	12.6	3.4	5.0
Z2-P12-B1 S	3 600	3 200	6 800	51	51	29	722	802	10.9	1.0	8.2	3.7	5.1
Z2-P12-B1 F	8 800	8 800	17 600	323	208	115	988	1 311	22.1	2.2	24.4	4.5	6.6
Z2-P12-B2 S	5 600	8 000	13 600	171	82	89	722	893	12.7	1.2	7.1	3.7	5.5
Z2-P12-B2 F	13 600	8 000	21 600	360	194	166	950	1 310	17.7	2.0	19.8	4.0	5.9
Z2-P13-B1 S	6 400	8 400	14 800	223	80	143	1 488	1 711	16.6	2.0	14.3	5.3	9.9
Z2-P13-B1 F	4 800	10 000	14 800	217	77	140	1 079	1 296	17.2	1.7	13.7	4.3	6.9
Z2-P13-B2 S	6 000	11 200	17 200	226	69	156	1 153	1 379	19.1	1.3	6.7	5.4	8.2
Z2-P13-B2 F	6 000	10 000	16 000	180	62	118	1 116	1 296	20.1	1.3	14.5	5.5	7.8
Z2-P18-B1 S	3 200	9 200	12 400	184	73	111	494	678	14.2	1.2	5.9	2.5	4.4
Z2-P18-B1 F	17 600	-	17 600	322	126	196	912	1 234	27.2	2.2	17.0	4.6	7.3
Z2-P18-B2 S	12 000	2 800	14 800	208	93	115	646	854	18.3	1.6	5.5	3.1	5.7
Z2-P18-B2 F	11 200	1 200	12 400	234	118	116	1 330	1 564	32.4	2.5	21.2	5.1	9.0
Z2-P20-B1 S	4 800	32 000	36 800	317	59	259	1 908	2 225	59.0	3.6	31.6	10.3	14.0
Z2-P20-B1 F	6 400	16 000	22 400	295	101	194	936	1 231	30.2	2.3	16.3	6.4	8.6
Z2-P20-B2 S	6 400	13 600	20 000	265	98	167	1 548	1 813	35.5	2.2	20.8	8.4	13.0
Z2-P20-B2 F	12 400	10 400	22 800	299	120	179	828	1 127	26.6	2.1	12.3	5.0	8.3
Z2-P21-B1 S	10 400	13 600	24 000	410	165	244	2 124	2 534	37.5	4.9	28.1	9.6	13.3
Z2-P21-B1 F	19 600	36 000	55 600	1 074	450	624	2 340	3 414	50.5	5.3	41.9	7.6	13.9
Z2-P21-B2 S	14 800	17 600	32 400	604	244	360	1 800	2 404	45.8	4.6	25.2	10.6	13.6
Z2-P21-B2 F	36 400	16 000	52 400	1 080	498	582	1 800	2 880	54.8	7.3	30.2	9.1	14.2
Z2-P24-B1 S	1 200	4 400	5 600	94	39	55	677	771	10.9	1.0	10.6	1.8	3.6
Z2-P24-B1 F	8 000	12 400	20 400	311	106	205	1 203	1 514	21.4	2.6	22.9	5.1	8.5
Z2-P24-B2 S	20 400	21 200	41 600	719	303	416	2 503	3 222	39.9	4.4	43.3	9.8	16.6
Z2-P24-B2 F	7 200	8 400	15 600	219	98	121	1 203	1 423	17.6	2.2	19.0	3.4	6.9

Annexe 17a : Matrice des corrélations pour l'ensemble des variables étudiées des placettes témoins, zone de Nioro.

	arlim	Ct debut	Nt début	Ct fin	Nt fin	Ca éch	Mg éch	K éch	Mn éch	CEC	Pass
arlim	1.000	0.175	0.084	0.521	0.380	-0.003	0.335	-0.057	0.320	0.176	0.346
Ct debut	0.175	1.000	0.830	0.789	0.698	0.665	0.565	0.238	-0.329	0.653	0.073
Nt début	0.084	0.830	1.000	0.715	0.755	0.716	0.586	0.413	-0.482	0.699	0.053
Ct fin	0.521	0.789	0.715	1.000	0.844	0.694	0.727	0.297	-0.169	0.754	0.042
Nt fin	0.380	0.698	0.755	0.844	1.000	0.730	0.749	0.481	-0.478	0.782	0.157
Ca éch	-0.003	0.665	0.716	0.694	0.730	1.000	0.725	0.709	-0.603	0.962	-0.235
Mg éch	0.335	0.565	0.586	0.727	0.749	0.725	1.000	0.590	-0.465	0.865	-0.064
K éch	-0.057	0.238	0.413	0.297	0.481	0.709	0.590	1.000	-0.682	0.740	-0.132
Mn éch	0.320	-0.329	-0.482	-0.169	-0.478	-0.603	-0.465	-0.682	1.000	-0.571	0.066
CEC	0.176	0.653	0.699	0.754	0.782	0.962	0.865	0.740	-0.571	1.000	-0.199
Pass	0.346	0.073	0.053	0.042	0.157	-0.235	-0.064	-0.132	0.066	-0.199	1.000
pHKCl	-0.367	0.463	0.566	0.354	0.534	0.807	0.488	0.776	-0.712	0.733	-0.206
pHeau	-0.429	0.394	0.522	0.266	0.459	0.771	0.440	0.817	-0.761	0.687	-0.200
Epis totaux	0.125	0.310	0.144	0.159	0.142	0.098	0.177	-0.050	0.003	0.136	0.444
Epis fert	0.152	0.266	0.073	0.125	0.127	0.062	0.179	-0.062	0.008	0.111	0.462
Epis infert	-0.156	0.221	0.381	0.175	0.072	0.194	-0.022	0.069	-0.025	0.126	-0.128
Pds épis	0.168	0.231	0.055	0.141	0.161	0.213	0.301	0.151	-0.089	0.271	0.358
Rdt grains	0.139	0.218	0.044	0.126	0.162	0.227	0.295	0.176	-0.101	0.278	0.358
Pds paille	0.353	0.247	0.174	0.309	0.345	0.293	0.388	0.173	-0.057	0.376	0.333
MS totale	0.278	0.247	0.124	0.241	0.270	0.265	0.360	0.168	-0.074	0.339	0.356
Nit _{pot} fin	-0.220	0.528	0.618	0.359	0.427	0.775	0.397	0.625	-0.599	0.684	-0.100
Nit _{pot} deb	-0.044	0.598	0.741	0.503	0.630	0.729	0.430	0.531	-0.602	0.663	0.137
BM _C 1	-0.321	0.262	0.461	0.285	0.409	0.644	0.436	0.659	-0.494	0.594	-0.392
BM _C 2	-0.101	0.337	0.307	0.215	0.323	0.286	0.113	0.096	-0.290	0.207	0.165
BM _C 3	-0.331	0.603	0.689	0.416	0.550	0.560	0.402	0.385	-0.619	0.490	-0.011
Nit _{nt} 1	0.407	-0.028	0.071	0.262	0.321	0.013	0.322	0.045	0.129	0.125	0.323
Nit _{nt} 2	0.407	0.037	0.118	0.211	0.218	0.143	0.315	0.079	0.066	0.251	0.038
Nit _{nt} 3	-0.052	0.449	0.521	0.319	0.259	0.504	0.247	0.132	-0.227	0.426	-0.144

Les corrélations significatives sont imprimées en caractères gras.

Annexe 17b : Matrice des corrélations pour l'ensemble des variables étudiées des placettes témoins, zone de Nioro.

	pHKCl	pHeau	Epis totaux	Epis fert	Epis infert	Pds épis	Rdt grains	Pds paille	MS totale	Nit _{pot} deb	Nit _{pot} fin
arlim	-0.367	-0.429	0.125	0.152	-0.156	0.168	0.139	0.353	0.278	-0.220	-0.044
Ct debut	0.463	0.394	0.310	0.266	0.221	0.231	0.218	0.247	0.247	0.528	0.598
Nt début	0.566	0.522	0.144	0.073	0.381	0.055	0.044	0.174	0.124	0.618	0.741
Ct fin	0.354	0.266	0.159	0.125	0.175	0.141	0.126	0.309	0.241	0.359	0.503
Nt fin	0.534	0.459	0.142	0.127	0.072	0.161	0.162	0.345	0.270	0.427	0.630
Ca éxh	0.807	0.771	0.098	0.062	0.194	0.213	0.227	0.293	0.265	0.775	0.729
Mg éch	0.488	0.440	0.177	0.179	-0.022	0.301	0.295	0.388	0.360	0.397	0.430
K éch	0.776	0.817	-0.050	-0.062	0.069	0.151	0.176	0.173	0.168	0.625	0.531
Mn éch	-0.712	-0.761	0.003	0.008	-0.025	-0.089	-0.101	-0.057	-0.074	-0.599	-0.602
CEC	0.733	0.687	0.136	0.111	0.126	0.271	0.278	0.376	0.339	0.684	0.663
Pass	-0.206	-0.200	0.444	0.462	-0.128	0.358	0.358	0.333	0.356	-0.100	0.137
pHKCl	1.000	0.966	0.106	0.068	0.204	0.162	0.182	0.126	0.147	0.743	0.742
pHeau	0.966	1.000	0.013	-0.021	0.183	0.107	0.130	0.047	0.077	0.781	0.695
Epis totaux	0.106	0.013	1.000	0.983	0.023	0.862	0.836	0.742	0.822	0.124	0.259
Epis fert	0.068	-0.021	0.983	1.000	-0.159	0.873	0.854	0.725	0.817	0.068	0.199
Epis infert	0.204	0.183	0.023	-0.159	1.000	-0.119	-0.157	0.043	-0.031	0.303	0.311
Pds épis	0.162	0.107	0.862	0.873	-0.119	1.000	0.994	0.875	0.962	0.188	0.190
Rdt grains	0.182	0.130	0.836	0.854	-0.157	0.994	1.000	0.866	0.954	0.181	0.180
Pds paille	0.126	0.047	0.742	0.725	0.043	0.875	0.866	1.000	0.974	0.150	0.212
MS totale	0.147	0.077	0.822	0.817	-0.031	0.962	0.954	0.974	1.000	0.173	0.209
Nit _{pot} fin	0.743	0.781	0.124	0.068	0.303	0.188	0.181	0.150	0.173	1.000	0.747
Nit _{pot} deb	0.742	0.695	0.259	0.199	0.311	0.190	0.180	0.212	0.209	0.747	1.000
BM _C 1	0.703	0.712	-0.297	-0.343	0.275	-0.197	-0.171	-0.165	-0.185	0.552	0.508
BM _C 2	0.265	0.208	-0.001	-0.030	0.158	-0.054	-0.040	-0.036	-0.046	0.169	0.350
BM _C 3	0.732	0.692	0.153	0.098	0.290	0.034	0.032	-0.023	0.003	0.577	0.747
Nit _{nt} 1	-0.143	-0.176	0.078	0.148	-0.392	0.046	0.063	0.071	0.061	-0.213	-0.047
Nit _{nt} 2	0.054	-0.071	0.212	0.242	-0.180	0.290	0.283	0.413	0.369	0.011	0.141
Nit _{nt} 3	0.265	0.224	0.065	-0.012	0.417	0.113	0.101	0.203	0.167	0.482	0.324

Les corrélations significatives sont imprimées en caractères gras.

Annexe 17c : Matrice des corrélations pour l'ensemble des variables étudiées des placettes témoins, zone de Nioro.

	BM _C 1	BM _C 2	BM _C 3	Nit _{nt} 1	Nit _{nt} 2	Nit _{nt} 3
arlim	-0.321	-0.101	-0.331	0.407	0.407	-0.052
Ct debut	0.262	0.337	0.603	-0.028	0.037	0.449
Nt début	0.461	0.307	0.689	0.071	0.118	0.521
Ct fin	0.285	0.215	0.416	0.262	0.211	0.319
Nt fin	0.409	0.323	0.550	0.321	0.218	0.259
Ca éxh	0.644	0.286	0.560	0.013	0.143	0.504
Mg éch	0.436	0.113	0.402	0.322	0.315	0.247
K éch	0.659	0.096	0.385	0.045	0.079	0.132
Mn éch	-0.494	-0.290	-0.619	0.129	0.066	-0.227
CEC	0.594	0.207	0.490	0.125	0.251	0.426
Pass	-0.392	0.165	-0.011	0.323	0.038	-0.144
pHKCl	0.703	0.265	0.732	-0.143	0.054	0.265
pHeau	0.712	0.208	0.692	-0.176	-0.071	0.224
Epis totaux	-0.297	-0.001	0.153	0.078	0.212	0.065
Epis fert	-0.343	-0.030	0.098	0.148	0.242	-0.012
Epis infert	0.275	0.158	0.290	-0.392	-0.180	0.417
Pds épis	-0.197	-0.054	0.034	0.046	0.290	0.113
Rdt grains	-0.171	-0.040	0.032	0.063	0.283	0.101
Pds paille	-0.165	-0.036	-0.023	0.071	0.413	0.203
MS totale	-0.185	-0.046	0.003	0.061	0.369	0.167
Nit _{pot} fin	0.552	0.169	0.577	-0.213	0.011	0.482
Nit _{pot} deb	0.508	0.350	0.747	-0.047	0.141	0.324
BM _C 1	1.000	0.305	0.555	0.016	-0.049	0.192
BM _C 2	0.305	1.000	0.408	-0.073	-0.075	0.376
BM _C 3	0.555	0.408	1.000	-0.081	0.002	0.223
Nit _{nt} 1	0.016	-0.073	-0.081	1.000	0.211	-0.305
Nit _{nt} 2	-0.049	-0.075	0.002	0.211	1.000	0.132
Nit _{nt} 3	0.192	0.376	0.223	-0.305	0.132	1.000

Les corrélations significatives sont imprimées en caractères gras.

Annexe 18a : Matrice des corrélations pour l'ensemble des variables étudiées des placettes témoins, zone de Bambey.

	arlim	Ct debut	Nt début	Ct fin	Nt fin	Ca éch	Mg éch	K éch	Mn éch	CEC	Pass
arlim	1.000	0.492	0.401	0.286	0.264	0.176	0.287	-0.033	0.233	0.225	0.200
Ct debut	0.492	1.000	0.947	0.890	0.873	0.480	0.486	0.513	0.062	0.515	0.629
Nt début	0.401	0.947	1.000	0.851	0.837	0.452	0.426	0.682	0.019	0.477	0.697
Ct fin	0.286	0.890	0.851	1.000	0.924	0.654	0.631	0.530	0.065	0.688	0.644
Nt fin	0.264	0.873	0.837	0.924	1.000	0.635	0.705	0.501	0.170	0.701	0.492
Ca éch	0.176	0.480	0.452	0.654	0.635	1.000	0.842	0.186	-0.111	0.974	0.153
Mg éch	0.287	0.486	0.426	0.631	0.705	0.842	1.000	0.046	0.355	0.941	0.188
K éch	-0.033	0.513	0.682	0.530	0.501	0.186	0.046	1.000	-0.082	0.153	0.704
Mn éch	0.233	0.062	0.019	0.065	0.170	-0.111	0.355	-0.082	1.000	0.081	0.238
CEC	0.225	0.515	0.477	0.688	0.701	0.974	0.941	0.153	0.081	1.000	0.196
Pass	0.200	0.629	0.697	0.644	0.492	0.153	0.188	0.704	0.238	0.196	1.000
pHKCl	-0.223	-0.109	0.091	-0.147	-0.116	-0.243	-0.343	0.604	0.133	-0.292	0.292
pHeau	-0.259	0.247	0.438	0.232	0.272	-0.021	-0.157	0.843	0.023	-0.063	0.524
Epis totaux	0.143	0.655	0.751	0.548	0.580	0.147	0.123	0.597	-0.002	0.158	0.642
Epis fert	0.256	0.457	0.454	0.411	0.543	0.218	0.401	0.038	0.221	0.313	0.224
Epis infert	0.020	0.573	0.705	0.461	0.416	0.051	-0.104	0.778	-0.152	0.002	0.713
Pds épis	0.206	0.675	0.683	0.581	0.690	0.133	0.305	0.345	0.282	0.227	0.521
Rdt grains	0.119	0.566	0.554	0.521	0.678	0.175	0.412	0.181	0.333	0.296	0.362
Pds paille	0.230	0.573	0.688	0.407	0.532	-0.096	0.124	0.622	0.348	0.007	0.672
MS totale	0.230	0.615	0.710	0.460	0.586	-0.044	0.172	0.581	0.345	0.061	0.662
Nit _{pot} fin	0.125	0.353	0.452	0.380	0.309	0.170	-0.024	0.762	-0.049	0.102	0.467
Nit _{pot} deb	0.161	0.613	0.749	0.623	0.605	0.209	0.118	0.915	0.054	0.200	0.640
BM _C 1	0.182	0.822	0.849	0.814	0.755	0.383	0.376	0.659	0.201	0.414	0.766
BM _C 3	0.273	0.751	0.747	0.663	0.770	0.427	0.495	0.705	0.238	0.479	0.584
Nit _{nt} 1	-0.006	0.303	0.375	0.392	0.269	0.135	0.101	0.334	-0.034	0.147	0.301
Nit _{nt} 3	-0.023	-0.069	-0.038	-0.299	-0.368	-0.353	-0.336	0.010	-0.073	-0.356	0.038

Les corrélations significatives sont imprimées en caractères gras.

Annexe 18b : Matrice des corrélations pour l'ensemble des variables étudiées des placettes témoins, zone de Bambey.

	pHKCl	pHeau	Epis totaux	Epis fert	Epis infert	Pds épis	Rdt grains	Pds paille	MS totale	Nit _{pot} deb	Nit _{pot} fin
arlim	-0.223	-0.259	0.143	0.256	0.020	0.206	0.119	0.230	0.230	0.125	0.161
Ct debut	-0.109	0.247	0.655	0.457	0.573	0.675	0.566	0.573	0.615	0.353	0.613
Nt début	0.091	0.438	0.751	0.454	0.705	0.683	0.554	0.688	0.710	0.452	0.749
Ct fin	-0.147	0.232	0.548	0.411	0.461	0.581	0.521	0.407	0.460	0.380	0.623
Nt fin	-0.116	0.272	0.580	0.543	0.416	0.690	0.678	0.532	0.586	0.309	0.605
Ca exh	-0.243	-0.021	0.147	0.218	0.051	0.133	0.175	-0.096	-0.044	0.170	0.209
Mg éch	-0.343	-0.157	0.123	0.401	-0.104	0.305	0.412	0.124	0.172	-0.024	0.118
K éch	0.604	0.843	0.597	0.038	0.778	0.345	0.181	0.622	0.581	0.762	0.915
Mn éch	0.133	0.023	-0.002	0.221	-0.152	0.282	0.333	0.348	0.345	-0.049	0.054
CEC	-0.292	-0.063	0.158	0.313	0.002	0.227	0.296	0.007	0.061	0.102	0.200
Pass	0.292	0.524	0.642	0.224	0.713	0.521	0.362	0.672	0.662	0.467	0.640
pHKCl	1.000	0.784	0.261	-0.258	0.525	-0.034	-0.187	0.325	0.255	0.699	0.493
pHeau	0.784	1.000	0.487	-0.054	0.691	0.286	0.153	0.557	0.516	0.580	0.765
Epis totaux	0.261	0.487	1.000	0.697	0.877	0.860	0.702	0.796	0.838	0.391	0.617
Epis fert	-0.258	-0.054	0.697	1.000	0.266	0.887	0.918	0.582	0.673	-0.093	0.199
Epis infert	0.525	0.691	0.877	0.266	1.000	0.561	0.328	0.680	0.676	0.589	0.697
Pds épis	-0.034	0.286	0.860	0.887	0.561	1.000	0.955	0.804	0.877	0.097	0.475
Rdt grains	-0.187	0.153	0.702	0.918	0.328	0.955	1.000	0.709	0.791	-0.091	0.314
Pds paille	0.325	0.557	0.796	0.582	0.680	0.804	0.709	1.000	0.991	0.284	0.629
MS totale	0.255	0.516	0.838	0.673	0.676	0.877	0.791	0.991	1.000	0.249	0.614
Nit _{pot} fin	0.699	0.580	0.391	-0.093	0.589	0.097	-0.091	0.284	0.249	1.000	0.730
Nit _{pot} deb	0.493	0.765	0.617	0.199	0.697	0.475	0.314	0.629	0.614	0.730	1.000
BM _C 1	0.218	0.582	0.541	0.151	0.626	0.510	0.394	0.553	0.563	0.401	0.693
BM _C 3	0.205	0.524	0.538	0.247	0.559	0.513	0.420	0.644	0.637	0.447	0.695
Nit _{nt} 1	-0.105	0.298	-0.083	-0.240	0.049	-0.027	-0.029	0.091	0.067	-0.062	0.417
Nit _{nt} 3	0.027	-0.091	0.032	-0.141	0.138	-0.096	-0.190	0.048	0.017	-0.043	-0.053

Les corrélations significatives sont imprimées en caractères gras.

Annexe 18c : Matrice des corrélations pour l'ensemble des variables étudiées des placettes témoins, zone de Bambey.

	BM _C 1	BM _C 3	Nit _{nt} 1	Nit _{nt} 3
arlim	0.182	0.273	-0.006	-0.023
Ct debut	0.822	0.751	0.303	-0.069
Nt début	0.849	0.747	0.375	-0.038
Ct fin	0.814	0.663	0.392	-0.299
Nt fin	0.755	0.770	0.269	-0.368
Ca éxh	0.383	0.427	0.135	-0.353
Mg éch	0.376	0.495	0.101	-0.336
K éch	0.659	0.705	0.334	0.010
Mn éch	0.201	0.238	-0.034	-0.073
CEC	0.414	0.479	0.147	-0.356
Pass	0.766	0.584	0.301	0.038
pHKCl	0.218	0.205	-0.105	0.027
pHeau	0.582	0.524	0.298	-0.091
Epis totaux	0.541	0.538	-0.083	0.032
Epis fert	0.151	0.247	-0.240	-0.141
Epis infert	0.626	0.559	0.049	0.138
Pds épis	0.510	0.513	-0.027	-0.096
Rdt grains	0.394	0.420	-0.029	-0.190
Pds paille	0.553	0.644	0.091	0.048
MS totale	0.563	0.637	0.067	0.017
Nit _{pot} fin	0.401	0.447	-0.062	-0.043
Nit _{pot} deb	0.693	0.695	0.417	-0.053
BM _C 1	1.000	0.715	0.554	-0.182
BM _C 3	0.715	1.000	0.194	-0.021
Nit _{nt} 1	0.554	0.194	1.000	-0.033
Nit _{nt} 3	-0.182	-0.021	-0.033	1.000

Les corrélations significatives sont imprimées en caractères gras.

Annexe 19a : Caractéristiques biologiques des sols lors de la campagne d'essais en milieu paysan (1997), zone de Nioro - Horizon 0-10 cm

Placette	Capacité nitrifiante (mgN kg ⁻¹ j ⁻¹)		Biomasse microbienne (mgC kg ⁻¹) (moyenne et écart-type)						Quotient microbien qBMc	Capacité nitrifiante in situ (mgN kg ⁻¹ j ⁻¹)									Cumul de N-NO ₃ produit mgN kg ⁻¹ kgN ha ⁻¹	
	Initiale	Finale	Semis	Fin montaison		Post-récolte		Semis			Fin montaison			Post-récolte						
								Bilan			Bilan			Bilan						
									NH ₄	NO ₃	Nmin	NH ₄	NO ₃	Nmin	NH ₄	NO ₃	Nmin			
Z1-P1-B1 S	-0.04	0.76	42	1.07	29	1.53	76	0.01	0.96	-0.51	1.16	0.65	-0.13	-0.59	-0.72	0.24	0.00	0.23	13.93	20.9
Z1-P1-B1 F	-0.04	0.95	36	0.35	46	1.85	126	9.21	2.09	-0.31	1.15	0.84	-0.25	-0.53	-0.77	0.11	0.04	0.15	18.70	28.1
Z1-P1-B2 S	-0.04	0.76	28	0.44	29	2.12	70	0.29	1.80	-0.32	0.65	0.33	-0.18	-0.61	-0.80	-0.07	0.13	0.06	-5.79	-8.7
Z1-P1-B2 F	-0.04	0.95	20	0.04	53	2.73	114	3.47	2.66	-0.42	0.80	0.38	-0.10	-0.40	-0.50	-0.14	0.13	-0.01	13.89	20.8
Z1-P2-B1 S	0.53	1.17	19	1.59	26	0.42	92	2.06	1.61	-0.28	0.94	0.66	-0.29	-0.65	-0.94	0.06	0.12	0.17	4.51	6.8
Z1-P2-B1 F	0.53	2.55	32	0.72	74	1.33	149	6.49	2.89	-0.63	1.46	0.84	-0.40	-0.20	-0.61	0.22	0.07	0.29	52.63	79.0
Z1-P2-B2 S	0.53	1.17	20	0.55	25	0.06	72	2.02	2.00	-0.30	0.56	0.27	-0.34	-0.52	-0.86	0.02	0.03	0.04	-4.29	-6.4
Z1-P2-B2 F	0.53	2.55	24	2.62	73	1.71	137	4.61	3.79	-0.50	1.40	0.91	-0.31	-0.03	-0.34	0.36	0.08	0.44	63.78	95.7
Z1-P3-B1 S	0.01	0.51	25	0.97	56	6.78	56	0.29	0.96	-0.37	0.80	0.43	-0.11	-0.73	-0.84	0.02	0.07	0.09	-6.39	-9.6
Z1-P3-B1 F	0.01	1.05	20	0.52	71	0.70	100	0.73	2.30	-0.55	0.96	0.41	-0.51	-0.58	-1.09	0.32	0.02	0.34	9.94	14.9
Z1-P3-B2 S	0.01	0.51	21	0.09	32	3.62	56	2.21	1.56	-0.21	0.54	0.33	-0.08	-0.70	-0.79	-0.10	0.23	0.13	-11.14	-16.7
Z1-P3-B2 F	0.01	1.05	23	0.45	92	9.18	98	2.68	2.66	-0.38	0.69	0.31	-0.48	-0.58	-1.06	0.30	0.17	0.47	1.47	2.2
Z1-P4-B1 S	0.30	1.04	17	0.55	33	1.64	65	0.20	1.44	-0.43	0.95	0.52	-0.16	-0.39	-0.55	0.08	0.16	0.24	22.17	33.3
Z1-P4-B1 F	0.30	2.08	33	0.11	87	2.04	135	7.18	3.41	-0.42	0.89	0.47	-0.39	0.16	-0.23	0.28	0.34	0.62	58.57	87.9
Z1-P4-B2 S	0.30	1.04	27	0.36	50	1.01	97	2.57	2.25	-0.47	0.73	0.26	-0.41	-0.76	-1.17	0.06	0.05	0.11	-11.52	-17.3
Z1-P4-B2 F	0.30	2.08	19	1.63	70	0.71	132	0.35	4.39	-0.41	0.75	0.34	-0.42	-0.31	-0.72	0.38	0.12	0.50	18.15	27.2
Z1-P6-B1 S	1.03	0.48	32	0.79	35	0.07	65	0.52	1.22	-0.11	0.36	0.25	-0.25	-0.62	-0.87	0.02	0.12	0.14	-17.34	-26.0
Z1-P6-B1 F	1.03	1.12	21	5.63	52	3.08	99	0.71	2.30	-0.22	0.29	0.06	-0.02	-0.69	-0.71	0.08	0.19	0.27	-19.83	-29.7
Z1-P6-B2 S	1.03	0.48	33	0.52	50	1.36	73	0.92	1.92	-0.23	0.65	0.42	-0.13	-0.63	-0.75	0.00	0.37	0.37	0.51	0.8
Z1-P6-B2 F	1.03	1.12	44	1.21	51	1.17	88	1.87	2.58	-0.21	0.59	0.38	0.08	-0.54	-0.47	-0.13	0.28	0.15	2.35	3.5
Z1-P7-B1 S	0.69	0.71	32	5.64	37	0.33	68	1.51	1.29	-0.68	1.14	0.47	-0.14	-0.64	-0.78	0.42	0.08	0.50	9.62	14.4
Z1-P7-B1 F	0.69	2.20	42	0.05	62	0.69	102	4.09	2.28	-0.65	1.02	0.37	-0.21	-0.43	-0.64	0.25	0.18	0.42	20.43	30.6
Z1-P7-B2 S	0.69	0.71	31	2.53	67	4.07	82	2.75	2.33	-0.45	0.53	0.09	-0.23	-0.57	-0.80	0.02	0.19	0.21	-4.62	-6.9
Z1-P7-B2 F	0.69	2.20	26	0.03	99	5.25	119	3.49	3.83	-1.05	1.38	0.33	-0.28	-0.19	-0.47	0.33	0.02	0.35	55.21	82.8
Z1-P8-B1 S	1.96	1.60	56	0.17	60	6.68	86	1.24	0.93	-0.26	0.61	0.35	-0.27	-0.56	-0.83	0.19	0.23	0.42	0.09	0.1
Z1-P8-B1 F	1.96	2.04	48	0.52	91	0.83	114	2.43	1.52	-0.50	0.79	0.29	-0.54	-0.19	-0.73	-0.25	0.33	0.08	32.69	49.0
Z1-P8-B2 S	1.96	1.60	35	0.26	49	3.59	82	1.71	1.78	-0.31	0.41	0.11	-0.21	-0.54	-0.75	-0.02	0.69	0.67	8.72	13.1
Z1-P8-B2 F	1.96	2.04	43	5.60	56	2.29	78	0.36	1.63	-0.33	0.77	0.43	-0.32	-0.62	-0.93	-0.03	0.36	0.33	6.23	9.3
Z1-P9-B1 S	0.17	0.39	36	0.62	27	0.56	44	2.54	0.47	-0.42	0.79	0.37	0.00	-0.63	-0.63	0.43	0.07	0.50	-1.48	-2.2
Z1-P9-B1 F	0.17	0.78	33	1.04	29	9.82	54	6.24	0.95	-0.43	0.81	0.38	-0.43	-0.57	-1.00	0.17	0.14	0.31	4.52	6.8
Z1-P9-B2 S	0.17	0.39	24	0.92	18	0.90	35	2.81	1.17	-0.41	0.66	0.26	-0.23	-0.64	-0.87	0.04	0.06	0.10	-6.97	-10.5
Z1-P9-B2 F	0.17	0.78	19	1.70	38	1.48	33	0.09	1.14	-0.40	0.68	0.28	-0.43	-0.53	-0.95	0.13	0.09	0.22	2.63	3.9

Annexe 19b : Caractéristiques biologiques des sols lors de la campagne d'essais en milieu paysan (1997), zone de Nioro - Horizon 0-10 cm

Placette	Capacité nitrifiante (mgN kg ⁻¹ j ⁻¹)		Biomasse microbienne (mgC kg ⁻¹)						Quotient microbien qBMc	Capacité nitrifiante in situ (mgN kg ⁻¹ j ⁻¹)									Cumul de N-NO ₃ produit mgN kg ⁻¹ kgN ha ⁻¹	
			(moyenne et écart-type)							Semis			Fin montaison			Post-récolte				
	Initiale	Finale	Semis	Fin montaison		Post-récolte		NH ₄	NO ₃	Nmin	NH ₄	NO ₃	Nmin	NH ₄	NO ₃	Nmin				
Z1-P10-B1 S	0.13	-0.02	20	0.80	15	0.88	29	0.37	0.22	-0.44	0.49	0.05	0.07	-0.73	-0.66	0.09	0.12	0.21	-16.59	-24.9
Z1-P10-B1 F	0.13	0.32	18	1.33	23	0.69	30	2.91	0.29	-0.88	1.30	0.42	-0.13	-0.53	-0.66	-0.01	0.13	0.12	27.37	41.1
Z1-P10-B2 S	0.13	-0.02	25	9.11	20	5.45	34	2.29	0.96	-0.30	0.95	0.65	-0.12	-0.59	-0.71	0.16	0.09	0.25	12.46	18.7
Z1-P10-B2 F	0.13	0.32	23	1.63	22	0.84	49	6.54	1.45	-0.51	1.12	0.61	0.18	-0.58	-0.40	0.02	0.07	0.09	17.21	25.8
Z1-P11-B1 S	0.74	1.35	42	0.11	36	2.46	73	3.32	0.87	-0.34	0.93	0.59	0.47	-0.42	0.05	0.44	0.08	0.52	18.09	27.1
Z1-P11-B1 F	0.74	1.45	49	2.36	59	0.15	99	3.27	2.62	-1.18	1.59	0.41	0.16	-0.39	-0.22	0.35	0.11	0.46	43.73	65.6
Z1-P11-B2 S	0.74	1.35	49	1.90	42	3.64	76	2.25	2.12	-0.72	1.23	0.50	0.22	-0.50	-0.28	0.20	0.06	0.27	25.99	39.0
Z1-P11-B2 F	0.74	1.45	38	0.20	60	13.18	98	1.59	2.80	-0.53	0.91	0.39	0.01	-0.40	-0.39	-0.04	0.22	0.18	21.98	33.0
Z1-P13-B1 S	0.76	0.81	20	1.03	19	1.01	41	0.60	0.40	-0.70	1.38	0.68	-0.01	-0.53	-0.54	-0.11	0.19	0.08	32.06	48.1
Z1-P13-B1 F	0.76	2.00	26	0.44	41	4.45	47	2.41	0.38	-0.27	0.85	0.58	0.02	-0.48	-0.46	-0.31	0.36	0.04	22.07	33.1
Z1-P13-B2 S	0.76	0.81	32	0.95	22	2.25	43	0.88	1.20	-0.33	0.82	0.50	0.17	-0.55	-0.38	0.00	0.29	0.29	10.79	16.2
Z1-P13-B2 F	0.76	2.00	39	4.04	43	11.64	85	2.52	1.74	-0.69	1.30	0.61	0.16	-0.38	-0.22	0.37	0.34	0.71	41.91	62.9
Z1-P14-B1 S	-0.03	0.84	38	7.45	68	3.38	61	0.18	0.72	-0.34	0.91	0.56	-0.34	-0.54	-0.88	-0.10	0.23	0.14	12.64	19.0
Z1-P14-B1 F	-0.03	0.78	35	1.24	83	13.81	68	0.43	1.05	-0.56	1.31	0.75	-0.13	-0.66	-0.79	0.20	0.29	0.49	25.26	37.9
Z1-P14-B2 S	-0.03	0.84	34	0.27	133	7.52	66	0.73	1.78	-0.40	0.90	0.50	-0.20	-0.60	-0.80	0.06	0.38	0.44	15.72	23.6
Z1-P14-B2 F	-0.03	0.78	30	1.51	120	3.27	87	2.32	3.23	-0.49	1.17	0.68	-0.80	-0.36	-1.16	0.62	0.58	1.20	42.10	63.1
Z1-P15-B1 S	0.13	0.39	22	1.84	58	13.57	30	0.74	0.28	-0.27	0.62	0.35	-0.08	-0.64	-0.72	0.20	0.10	0.30	-10.39	-15.6
Z1-P15-B1 F	0.13	0.34	18	3.36	31	1.18	39	1.54	0.51	-0.25	0.40	0.15	0.74	-0.56	0.17	0.36	0.05	0.41	-14.73	-22.1
Z1-P15-B2 S	0.13	0.39	16	0.90	26	1.01	35	0.11	1.18	-0.46	0.63	0.18	0.15	-0.52	-0.37	0.04	0.09	0.14	-2.90	-4.4
Z1-P15-B2 F	0.13	0.34	26	5.29	33	2.29	43	1.10	1.61	-0.41	0.47	0.06	0.69	-0.44	0.26	0.00	0.04	0.04	-5.02	-7.5
Z1-P16-B1 S	-0.06	0.29	28	1.62	23	0.22	54	0.18	0.80	-0.47	0.74	0.27	-0.43	-0.52	-0.96	0.61	0.16	0.77	4.72	7.1
Z1-P16-B1 F	-0.06	1.23	15	9.06	68	15.78	36	0.95	0.33	-0.81	1.06	0.25	-3.35	-0.04	-3.39	0.27	0.32	0.60	50.97	76.5
Z1-P16-B2 S	-0.06	0.29	25	0.60	19	0.88	35	0.58	1.15	-0.49	0.76	0.27	-0.55	-0.54	-1.09	0.07	0.35	0.41	8.59	12.9
Z1-P16-B2 F	-0.06	1.23	35	3.11	18	2.26	59	1.40	2.04	-0.65	1.11	0.46	-0.12	-0.55	-0.67	0.57	0.31	0.88	20.90	31.3
Z1-P17-B1 S	0.10	0.21	30	6.31	13	0.85	30	2.04	0.33	-0.49	0.95	0.46	-0.17	-0.61	-0.78	0.14	0.02	0.15	2.08	3.1
Z1-P17-B1 F	0.10	0.31	19	1.60	30	3.70	46	1.53	1.04	-0.26	0.72	0.46	0.10	-0.45	-0.35	0.46	-0.01	0.46	3.52	5.3
Z1-P17-B2 S	0.10	0.21	14	0.06	21	0.43	24	0.43	1.01	-0.15	0.51	0.36	-0.23	-0.37	-0.60	0.13	0.03	0.15	-0.39	-0.6
Z1-P17-B2 F	0.10	0.31	14	4.35	14	0.73	37	0.54	1.19	-0.51	0.73	0.22	0.51	-0.29	0.22	0.11	0.09	0.20	16.43	24.6

Annexe 19c : Caractéristiques biologiques des sols lors de la campagne d'essais en milieu paysan (1997), zone de Nioro - Horizon 0-10 cm

Placette	Capacité nitrifiante (mgN kg ⁻¹ j ⁻¹)		Biomasse microbienne (mgC kg ⁻¹)			Quotient microbien	Capacité nitrifiante in situ (mgN kg ⁻¹ j ⁻¹)									Cumul de N-NO ₃ produit	
			(moyenne et écart-type)				qBMc	Semis			Fin montaison			Post-récolte			
	Initiale	Finale	Semis	Fin montaison	Post-récolte	NH ₄		NO ₃	Nmin	NH ₄	NO ₃	Nmin	NH ₄	NO ₃	Nmin	mgN kg ⁻¹	kgN ha ⁻¹
Z1-P18-B1 S	0.25	0.37	19 1.59	55 3.87	31 0.08	0.52	-0.50	0.86	0.37	0.35	-0.68	-0.33	-0.11	0.19	0.08	2.73	4.1
Z1-P18-B1 F	0.25	1.14	19 2.12	57 13.01	52 0.72	1.07	-0.36	0.61	0.25	-0.46	-0.48	-0.94	0.10	0.61	0.70	17.69	26.5
Z1-P18-B2 S	0.25	0.37	9 4.46	43 1.91	27 2.07	0.83	-0.58	0.77	0.20	0.30	-0.65	-0.35	0.06	0.26	0.32	2.79	4.2
Z1-P18-B2 F	0.25	1.14	9 0.84	56 16.54	72 1.40	2.19	-0.40	0.74	0.34	-0.19	-0.33	-0.53	-0.11	0.45	0.34	24.84	37.3
Z1-P19-B1 S	0.15	0.27	28 0.29	26 0.77	56 0.03	0.88	-1.03	1.44	0.42	-0.39	-0.33	-0.73	0.07	0.03	0.10	40.41	60.6
Z1-P19-B1 F	0.15	0.79	23 0.84	30 4.74	45 0.88	0.53	-0.64	1.04	0.41	-0.26	-0.35	-0.61	0.14	0.07	0.20	24.39	36.6
Z1-P19-B2 S	0.15	0.27	25 0.79	19 0.31	41 0.83	1.06	-0.53	0.86	0.33	-0.36	-0.46	-0.82	-0.33	0.19	-0.15	13.65	20.5
Z1-P19-B2 F	0.15	0.79	29 2.16	43 0.25	66 0.78	2.07	-0.64	1.12	0.48	0.37	-0.33	0.04	0.18	0.12	0.30	28.47	42.7
Z1-P20-B1 S	0.10	0.51	20 2.48	15 0.94	35 5.15	0.49	-0.51	0.83	0.33	0.10	-0.55	-0.44	-0.06	0.19	0.13	7.63	11.5
Z1-P20-B1 F	0.10	0.58	24 0.50	35 3.76	40 1.03	0.59	-0.88	1.09	0.21	0.40	-0.17	0.23	0.12	0.08	0.21	38.90	58.4
Z1-P20-B2 S	0.10	0.51	18 2.93	14 0.34	31 1.47	0.92	-0.80	1.00	0.20	-0.15	-0.44	-0.60	0.04	0.09	0.13	16.96	25.4
Z1-P20-B2 F	0.10	0.58	20 1.02	32 13.37	40 2.87	1.20	-0.48	0.87	0.39	-0.72	0.09	-0.63	0.15	0.37	0.52	52.06	78.1
Z1-P21-B1 S	0.22	0.76	14 0.12	51 1.33	43 3.81	0.88	-1.36	1.64	0.29	-0.23	-0.49	-0.72	0.31	0.10	0.41	41.18	61.8
Z1-P21-B1 F	0.22	0.25	19 1.64	53 22.59	41 5.71	0.89	-1.34	1.95	0.61	-0.19	-0.36	-0.54	0.12	0.90	1.02	84.58	126.9
Z1-P21-B2 S	0.22	0.76	7 0.98	39 1.55	34 3.44	1.04	-0.68	0.71	0.04	-0.02	-0.61	-0.63	0.22	0.11	0.33	0.24	0.4
Z1-P21-B2 F	0.22	0.25	6 1.05	67 0.53	40 3.17	1.22	-1.01	1.27	0.26	0.00	-0.51	-0.52	0.27	0.12	0.39	25.79	38.7
Z1-P23-B1 S	1.07	1.54	37 0.13	47 1.36	64 0.29	0.66	-0.74	0.68	-0.05	0.01	-0.47	-0.46	-0.24	0.31	0.07	9.11	13.7
Z1-P23-B1 F	1.07	1.63	33 0.74	67 0.11	87 0.93	1.26	-0.44	0.64	0.20	-0.28	-0.35	-0.63	-0.14	0.39	0.25	18.87	28.3
Z1-P23-B2 S	1.07	1.54	34 0.37	54 0.29	71 0.00	1.97	-0.30	0.58	0.28	-0.31	-0.48	-0.79	0.32	0.22	0.54	3.70	5.5
Z1-P23-B2 F	1.07	1.63	39 4.18	51 3.23	91 0.06	2.76	-0.47	0.68	0.21	-0.25	-0.22	-0.47	0.62	0.28	0.90	22.17	33.3
Z1-P24-B1 S	0.17	0.54	33 7.41	25 2.06	48 1.75	0.49	-1.15	1.47	0.32	0.28	-0.71	-0.43	1.09	0.03	1.12	18.14	27.2
Z1-P24-B1 F	0.17	0.57	23 0.22	26 0.94	41 1.35	0.51	-0.62	0.93	0.31	0.21	-0.77	-0.56	0.14	0.04	0.18	-6.54	-9.8
Z1-P24-B2 S	0.17	0.54	26 1.29	28 1.71	41 0.36	1.14	-0.74	0.85	0.11	0.50	-0.61	-0.11	0.07	0.13	0.20	4.72	7.1
Z1-P24-B2 F	0.17	0.57	21 1.28	31 0.84	45 0.34	1.27	-0.56	0.54	-0.02	0.23	-0.61	-0.38	-0.23	0.35	0.12	-1.04	-1.6
Z1-P25-B1 S	0.22	0.75	17 1.38	39 1.78	60 1.38	0.88	-0.64	0.81	0.17	-0.52	0.14	-0.37	0.05	0.27	0.31	50.44	75.7
Z1-P25-B1 F	0.22	0.84	34 3.14	47 1.84	46 0.46	0.21	-0.78	0.63	-0.16	-0.69	0.22	-0.46	-0.03	0.38	0.36	49.19	73.8
Z1-P25-B2 S	0.22	0.75	28 1.57	41 0.53	47 2.77	1.44	-0.74	1.26	0.52	-0.61	-0.03	-0.64	-0.21	0.24	0.03	58.55	87.8
Z1-P25-B2 F	0.22	0.84	40 0.77	69 1.59	61 1.37	1.73	-0.92	1.01	0.10	-1.28	1.30	0.02	-0.28	0.51	0.23	133.08	199.6

Annexe 20 : Caractéristiques biologiques des sol lors de la campagne d'essais en milieu paysan (1997), zone de Bambey - Horizon 0-10 cm

Placette	Capacité nitrifiante (mgN kg ⁻¹ j ⁻¹)		Biomasse microbienne (mgC kg ⁻¹) (moyenne et écart-type)			Quotient microbien qBMc	Capacité nitrifiante in situ (mgN kg ⁻¹ j ⁻¹)									Cumul de N-NO ₃ produit mgN kg ⁻¹ kgN ha ⁻¹			
	Initiale	Finale	Semis	Fin montaison	Post-récolte		Semis			Fin montaison			Post-récolte						
							NH ₄	NO ₃	Nmin	NH ₄	NO ₃	Nmin	NH ₄	NO ₃	Nmin				
Z2-P5-B1 S	1.28	1.15	36	1.30		35	0.59	0.36	-0.52	0.44	-0.09				-0.39	-0.01	-0.41	30.42	45.6
Z2-P5-B1 F	1.28	1.17	33	0.36		37	0.45	0.43	-0.05	0.48	0.44				-0.18	-0.01	-0.18	33.11	49.7
Z2-P5-B2 S	1.28	1.15	19	0.82		34	0.19	1.69	-0.22	0.21	-0.01				-0.06	-0.01	-0.07	16.29	24.4
Z2-P5-B2 F	1.28	1.17	22	0.04		40	0.36	1.98	0.00	0.27	0.27				-0.16	0.02	-0.14	23.36	35.0
Z2-P12-B1 S	0.96	0.70	22	0.80		31	0.37	0.69	-0.29	0.48	0.19				-0.28	0.02	-0.26	32.79	49.2
Z2-P12-B1 F	0.96	0.80	29	0.32		31	0.35	0.58	-0.51	0.43	-0.08				-0.20	0.16	-0.04	39.91	59.9
Z2-P12-B2 S	0.96	0.70	17	0.51		28	0.18	1.76	-0.28	0.30	0.03				-0.22	-0.04	-0.26	20.86	31.3
Z2-P12-B2 F	0.96	0.80	15	0.36		39	0.77	2.58	-0.62	0.76	0.15				0.01	-0.09	-0.07	55.65	83.5
Z2-P13-B1 S	1.02	0.85	22	0.17		31	0.36	0.53	-0.33	0.37	0.04				-0.10	-0.05	-0.15	24.26	36.4
Z2-P13-B1 F	1.02	1.58	10	1.27		47	0.49	2.04	-0.22	0.32	0.10				-0.38	-0.17	-0.56	11.68	17.5
Z2-P13-B2 S	1.02	0.85	17	0.46		32	2.77	1.53	-0.30	0.37	0.07				0.36	0.25	0.61	41.11	61.7
Z2-P13-B2 F	1.02	1.58	11	0.47		46	1.42	2.02	-0.32	0.25	-0.07				-0.44	0.03	-0.40	21.05	31.6
Z2-P18-B1 S	1.57	0.90	37	0.15		40	0.53	0.52	-0.37	0.33	-0.03				-0.21	-0.03	-0.25	22.57	33.8
Z2-P18-B1 F	1.57	1.55	37	1.31		47	0.67	0.67	-0.17	0.32	0.15				-0.19	0.00	-0.18	29.76	44.6
Z2-P18-B2 S	1.57	0.90	17	0.42		27	0.49	1.11	-0.24	0.27	0.03				-0.14	-0.01	-0.15	18.43	27.6
Z2-P18-B2 F	1.57	1.55	20	0.02		39	0.00	1.56	-0.20	0.36	0.16				-0.13	0.01	-0.12	26.62	39.9
Z2-P20-B1 S	2.72	1.98	52	0.70		52	0.25	0.46	-0.41	0.54	0.13				0.25	0.04	0.29	41.11	61.7
Z2-P20-B1 F	2.72	0.99	21	1.64		39	0.07	0.53	-0.27	0.46	0.19				-0.23	0.02	-0.21	35.82	53.7
Z2-P20-B2 S	2.72	1.98	25	0.74		46	0.08	2.17	-0.37	0.38	0.02				-0.14	0.00	-0.13	27.74	41.6
Z2-P20-B2 F	2.72	0.99	27	0.01		57	1.39	2.49	-0.21	0.37	0.16				-0.10	0.00	-0.11	27.83	41.8
Z2-P21-B1 S	1.59	1.64	41	0.04		77	1.23	1.03	-0.39	0.45	0.06				-0.25	0.02	-0.23	32.87	49.3
Z2-P21-B1 F	1.59	2.29	28	0.50		71	0.92	1.36	-0.33	0.43	0.10				-0.37	0.04	-0.33	35.45	53.2
Z2-P21-B2 S	1.59	1.64	54	0.12		60	0.31	1.68	-0.58	0.66	0.07				-0.30	-0.02	-0.33	46.43	69.6
Z2-P21-B2 F	1.59	2.29	46	0.06		95	2.90	1.79	-0.55	0.53	-0.02				-0.50	0.06	-0.45	45.02	67.5
Z2-P24-B1 S	1.05	1.54	39	0.13		35	0.38	-0.14	-1.09	1.16	0.07				-0.15	0.00	-0.15	73.03	109.5
Z2-P24-B1 F	1.05	1.58	22	0.34		44	0.33	0.87	-0.42	0.33	-0.09				-0.10	0.02	-0.08	23.44	35.2
Z2-P24-B2 S	1.05	1.54	37	0.65		43	0.52	1.59	-0.55	0.50	-0.05				-0.15	0.00	-0.15	32.90	49.4
Z2-P24-B2 F	1.05	1.58	27	0.08		44	0.04	1.84	-0.50	0.48	-0.02				-0.19	-0.01	-0.20	34.50	51.8



Placettes de mil en milieu paysan, sans fumier (premier plan) et avec fumier (arrière-plan)



Arachide sur l'essai RMO pérenne, campagne 1997 (au premier plan avec apport de fumier)



Pesée d'une charrette de fumier en milieu paysan



Placettes de mil en milieu paysan, sans fumier (premier plan) et avec fumier (arrière-plan)



Arachide sur l'essai RMO pérenne, campagne 1997 (au premier plan avec apport de fumier)



Pesée d'une charrette de fumier en milieu paysan

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

o0o

VU LES RAPPORTS ETABLIS PAR :

Monsieur GUIRAUD G, Docteur d'Etat, DEVM/LEMIR – Saint-Paul-Lez-Durance
Monsieur CHOTTE J.L, Chargé de recherche, IRD – DAKAR - Sénégal

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

Mademoiselle FERNANDES Paula

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

**"Effets des modes de gestion des sols en zone Sahélienne sur l'évolution de leur bilan
organique et biologique : conséquence pour une production céréalière soutenue. Cas 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, 15 octobre 1999

Le Président de l'I.N.P.L.,

J. HARDY



NANCY BRABOIS
2, AVENUE DE LA
FORET-DE-HAYE
BOITE POSTALE 3
F - 5 4 5 0 1
VANDŒUVRE CEDEX

Service Commun de la Documentation
INPL
Nancy-Brabois

RESUME

En zone sahélienne, la matière organique du sol (MOS) et sa fraction microbienne (BM_C) sont deux composantes essentielles de la fertilité des terres, la MOS pour sa fonction bien connue de réserve de nutriments et son rôle dans les propriétés physiques du sol, la BM_C comme moteur de la majeure partie des processus biologiques intervenant sur la MOS.

Notre objectif est (1) d'évaluer l'effet d'apports de matière organique sur la fertilité des sols en se basant sur des variables chimiques et biologiques et sur les composantes du rendement et (2) de rechercher les relations entre ces différentes variables afin de définir des types de comportement des sols susceptibles d'expliquer la grande variabilité de la réponse à un apport de fumier en milieu paysan.

Nous disposons d'essais annuels et pérennes en station et d'un essai multilocal en milieu paysan. Nos variables sont les caractéristiques physico-chimiques des sols, la BM_C et la nitrification nette quantifiée *in situ* (Nit_{nt}) et en laboratoire en conditions optimales (Nit_{pot}) pour les variables biologiques, et le rendement utilisé comme variable intégratrice.

Cette étude confirme la décroissance très rapide de la MOS dès la mise en culture (-40% de C en 1^{ère} année) et présente également des résultats nouveaux : (1) elle valide, en milieu paysan, l'augmentation de la BM_C en cours de cycle observée par d'autres auteurs en station ; (2) elle précise les relations entre composante biologique (BM_C et Nit_{nt}) et composante chimique (CEC et MOS) ; (3) elle montre que la variabilité de la réponse du sol et de la plante est fonction de la composition du fumier et de la zone écologique ; cette variabilité est utilisée pour définir des types de comportement des sols ; (4) elle montre que l'effet du fumier est encore notable après 2 ans sur le rendement et la BM_C .

Ce travail nous a également conduit à des études méthodologiques. La connaissance fine des mécanismes biologiques des sols passe par une étude en conditions contrôlées.

SUMMARY

In the sahelian zone, soil organic matter (SOM) and microbial biomass (MB_C) are two essential components of soil fertility, SOM because of its role in soil physical properties and stock of nutrients, and MB_C as the key of most of the biological processes involved in SOM evolution.

Our objective is (1) to evaluate the effects of organic inputs on soil fertility, using chemical and biological variables as well as yield components and (2) to determine the relationships between these variables so as to define types of soil behaviour that could explain the large variability of the response to manure in field conditions.

We worked on medium-term and annual experiments as well as a multilocal experiment in field conditions. Our variables are soil physico-chemical characteristics, MB_C , nitrification determined *in situ* (Nit_{nt}) and in controlled conditions (Nit_{pot}) as the biological variables, and plant productivity as an integrative variable.

Our results confirm the fast degradation of SOM the first year of cultivation after 15 years of herbaceous fallow (-40% C the first year). This study also presents new results : (1) it validate, in field conditions, the increase of MB_C during the cultivation period observed by other authors in agronomical station and precises the relationships between soil biological component (MB_C and Nit_{nt}) and chemical ones (CEC, SOM) ; (3) it shows that the variability of the soil and plant response to manure is a function of its composition and of the ecological zone ; this variability is used to define types of soil behaviour ; (4) it shows that residual effects of manure is still sensible, even after two years, on yield and MB_C .

This work also led to methodological studies. Controlled conditions are necessary for a better knowledge of biological mechanisms.