

Soil organic matter and nitrogen interaction in a tropical agrosystem. Study by size organic matter fractionation and isotope techniques

FELLER, C.*; GUIRAUD, G.**; GANRY, F.***

q mhp206

CRDO - DAKAR
date 20/10/89
n° 7253 cote DED FEL

RÉSUMÉ

Les résultats de 4 années d'essais au champ (culture intensive de mil au Sénégal) sur un sol sableux très pauvre en matière organique ont montré qu'il était possible d'accroître le stock organique (C, N) du sol et la productivité végétale par des apports combinés d'urée et de compost. Les effets respectifs de la fertilisation chimique et organique sont étudiés en vase de végétation à l'aide d'urée ^{15}N et de résidus de récolte de maïs ^{14}C ^{15}N (paille et compost). La matière organique du sol est fractionnée par une méthode granulométrique (tamisages à sec et sous eau) et les teneurs isotopiques sont déterminées sur les différentes fractions. On obtient : 3 fractions de tailles supérieures à 50 μm où la matière organique est sous forme de débris végétaux à différents degrés d'humification, 1 fraction organo-minérale < 50 μm (humus s.s.) et 1 fraction hydrosoluble. Comparé aux traitements témoin sans enfouissement organique (T) et enfouissement de paille (P), seul le traitement compost (PC) permet à la fois une productivité végétale élevée, une bonne utilisation de N-urée par la plante, une augmentation des teneurs en C et N du sol et limite les pertes en N-urée. Dans le traitement PC, l'essentiel de l'azote provenant de l'urée (N-urée) est retrouvé sous forme organique dans les fractions supérieures à 50 μm (réorganisation azotée par le système racinaire) alors que pour P et T, N-urée est stocké dans la fraction hydrosoluble avec risques de pertes par lessivage. L'humification des résidus végétaux a

lieu surtout par voie résiduelle comme l'indique le stockage de C et N dans les fractions supérieures à 50 μm . Les différences de répartition observées pour C et N-paille sont interprétées en fonction de la composition initiale de la paille.

En conclusion, le fractionnement granulométrique de la matière organique associé aux techniques isotopiques est une méthode privilégiée d'étude de la décomposition des résidus végétaux dans le sol et des interactions azote-matière organique dans le système sol-plante,

INTRODUCTION

Dans les régions semi-arides tropicales les recherches sur la fertilité des sols souvent très pauvres ont mis en évidence l'importance de la matière organique pour le maintien de cette fertilité. Au Sénégal la non-restitution de résidus de récolte en culture intensive s'accompagne aussi bien pour les sols de défriche récente que pour les sols anciennement cultivés d'une diminution du stock organique, d'une dégradation des propriétés physiques et chimiques et de la baisse à moyen terme des rendements culturaux. 2, 3, 4, 5, 6.

Des résultats antérieurs 7,8 ont montré que, sur sols sableux, il était possible d'accroître le niveau organique du sol et la disponibilité de l'azote pour la plante en associant enfouissement de résidus de récolte (compost) et fertilisation azotée (urée). Toutefois, les comportements respectifs de l'amendement organique et de la fumure azotée ne peuvent être mis en évidence qu'avec l'utilisation de techniques de marquage isotopique.

Aussi, afin d'étudier les processus d'humification (C, N) des résidus de récolte et la réorganisation de N-engrais dans un agrosystème Mil-Sol sableux, une expérimentation en vase de végétation, avec (ou sans) apports, marqués (ou non) urée ^{15}N , paille de maïs ^{14}C ^{15}N , compost ^{14}C , a été effectuée au Sénégal. Les données concernant la décomposition de la paille marquée ^{14}C ^{15}N a déjà fait l'objet d'une publication.

Nous présentons ici les résultats du bilan d'azote-engrais dans le système sol-plante pour divers traitements (avec ou sans enfouissement de paille et de compost) et comparons les processus de réorganisation et/ou d'humification dans le sol de N-engrais, N-paille et C-paille,

- (*) ORSTOM, B.P. 81, 97201 Fort-de-France, Cédex, Martinique
- (**) CEA, DB/SRA, B.P. n° 1, 13115 St Paul-lez-Durance, France
- (***) ISRA, CRA Bambey, Région Diourbel Sénégal

Mots clés Azote, fractionnement granulométrique, Matière organique sol, Résidus de récolte, Sénégal, Techniques isotopiques ^{14}C ^{15}N

Key words Crop residues, Isotopical techniques ^{14}C ^{15}N , Nitrogen, Senegal, Size fractionation, Soil organic matter.



Les méthodes classiques d'étude de la matière organique du sol par extractions chimiques acido-alcalines paraissent relativement peu adaptées aux recherches sur les interactions sol-plante et les premières phases de décomposition et d'humification des résidus végétaux. Nous avons préféré aborder ces problèmes à l'aide d'une méthode granulométrique de fractionnement de la matière organique¹⁰ basée sur de simples tamisages du sol à sec à 2000 µm puis sous eau à 200 et 50 µm. Les teneurs isotopiques sont déterminées sur chaque fraction. A part

quelques travaux récents^{11, 12} sur l'humification des résidus végétaux dans des expérimentations par incubation, peu de publications traitent du fractionnement granulométrique de la matière organique de sols marqués ¹⁴C et ¹⁵N

MATERIEL ET METHODES

Le sol

Le sol utilisé est l'horizon de surface (0-20 cm) d'un sol sableux (*) du Sénégal dont les caractéristiques sont :
pH=5,5 C%=2,15 N%=0,20 C/N=10,8
CEC (meq/100g)=1,6 V%=50
granulométrie % : A=4,0 LF=3,0 LG=4,0 SF=64,1
SG=24,0

La culture et le dispositif expérimental

L'expérience est effectuée au Sénégal pendant une saison des pluies en serre aérée et consiste en deux cultures successives de mil (var. ICRISAT BK 560) sur le sol ayant reçu dans les 20 premiers centimètres des apports d'urée, de paille de maïs ou de compost de paille de maïs. L'urée est apportée en solution en 4 fois et les résidus végétaux sont enfouis en début d'expérimentation sous forme de débris de tailles supérieures à 2 mm (environ 0,5 à 1,0 cm). Pour chaque traitement, 6 vases de végétation sans fond (constituant les 6 répétitions de l'horizon de surface) remplis d'environ 7 kg de sol sont directement posés sur un bac contenant 200 kg du même sol (horizon profond). L'ensemble est maintenu à l'humidité équivalente pendant les deux cultures successives (2 x 60 jours).

Les différents traitements

Tous les traitements ont reçu les mêmes doses (0,1 %) de P₂O₅ et K₂O (phosphate supertriple et KCl). Ils ne diffèrent que par la fertilisation chimique azotée (0 ou 0,2 % de N-urée) ou organique (0 ou 1,5 % de matière sèche de paille de maïs ou de son compost)

L'urée marquée ¹⁵N utilisée (Um) présente un excès isotopique E%=3,86. La paille de maïs marquée ¹⁴C ¹⁵N (Pm) est un mélange constitué d'une paille marquée ¹⁴C (provenance CEA, Cadarache¹³), d'une paille marquée ¹⁵N (provenance ORSTOM, Sénégal) et d'une paille non marquée provenant de la même variété de maïs (INRA F2 x F7). Le compost de paille de maïs marqué ¹⁴C (CPm) est un mélange constitué de compost de paille marqué ¹⁴C et d'un compost de paille non marqué. La paille et le compost marqués présentent les caractéristiques suivantes :
Pm = Paille ¹⁴C ¹⁵N : C%=39,0 N%=26,9 C/N=14,6
E% (excès isotopique)=12,3 RAS (radioactivité spécifique)=290kBq/gC

(*) Nom vernaculaire : sol Dior. Classification française : sol ferrugineux tropical peu lessivé. Classification FAO : luvic Acrisol, USDA, 7th Approximation : psammentic ustropept

Compost ¹⁴C : C%=20,1 N%=20,0 C/N=11,2
RAS=64,4kBq/gC

Huit traitements sont étudiés ;

T : témoin sans enfouissement et sans urée
T-Um : témoin sans enfouissement et avec urée ¹⁵N
Pm : enfouissement de paille ¹⁴C ¹⁵N sans urée
Pm-U : enfouissement de paille ¹⁴C ¹⁵N avec urée non marquée
P-Um : enfouissement de paille non marquée avec urée ¹⁵N
CPm : enfouissement de compost ¹⁴C sans urée
CPm-U : enfouissement de compost ¹⁴C avec urée non marquée
CP-Um : enfouissement de compost non marqué avec urée ¹⁵N

Le fractionnement du sol

A la récolte les parties aériennes sont exportées mais les racines vivantes ne sont pas isolées du sol. Celui-ci est ensuite fractionné par tamisage¹⁰. Nous rappelons brièvement la méthode utilisée.

La totalité du sol de chaque répétition (environ 7 kg) est tamisée à sec à 2000 µm puis une aliquote de 600 g de la fraction inférieure à 2000 µm est tamisée sous eau à 200 et 50 µm. On sépare ainsi les fractions granulométriques suivantes :

F 2000 : (taille supérieure à 2000 µm) : débris végétaux très grossiers peu ou pas humifiés,
F 200 : (taille 200-2000 µm) : sables + débris végétaux grossiers peu humifiés,
F 50 : (taille 50-200 µm) : sables + débris végétaux fins humifiés,
FOM : (taille 0-50 µm) : fraction organo-minérale (humus s.s.),
W : (eaux de fractionnement) : fraction hydrosoluble.

FOM est séparée de W par floculation à HCl (pH 2,0) et centrifugation.

Cette méthode permet l'obtention de trois formes de matières organiques :

- les matières organiques figurées, constituées surtout de débris végétaux à divers degrés d'humification retrouvés dans les fractions supérieures à 50 µm (F 2000, F 200 et F 50) nommées fractions végétales,
- les matières organiques non reconnaissables liées à la matière minérale, complexe organo-minéral (humus s.s.), retrouvées dans la fraction 0-50 µm (FOM),
- les matières organiques (ou minérales) hydrosolubles W retrouvées dans les eaux de fractionnement.

Le degré d'humification est croissant de F 2000 à FOM.

Le fractionnement porte uniquement sur l'horizon de surface (6 répétitions). L'horizon de profondeur est analysé globalement sans fractionnement.

Par rapport à l'échantillon non fractionné, la somme des fractions représente 95 % de ¹⁵N (coefficient de variation de 5 %) et 90 à 110 % de ¹⁴C (coefficient de variation de 15 %).

Les dosages de carbone et d'azote

Le carbone est transformé en CO₂ par combustion, dosé soit par conductimétrie à l'aide d'un "carmomat" Wosthoff (C total) soit piégé au moyen d'un "Oxidizer" Packard pour être ensuite déterminé par scintillation liquide avec un compteur Intertechnique SL 4221 (¹⁴C). Les teneurs en azote total sont déterminées après attaque Kjeldahl et les teneurs isotopiques en ¹⁵N sont obtenues par spectrométrie de masse sur un Varian MAT GD 150, après transformation du sulfate d'ammonium en azote moléculaire par l'hypobromite de sodium.

RESULTATS

Pour simplifier la lecture du texte nous utiliserons les abréviations ^{15}N -urée, ^{15}N -paille, ^{14}C -paille, ^{14}C -compost pour l'azote et le carbone provenant de l'urée, de la paille ou du compost initiaux et retrouvés sous forme ^{15}N ou ^{14}C en fin d'expérience dans la plante ou les différentes fractions de sol, ceci, sans préjuger de la nature réelle des composés carbonés et azotés dosés.

Productivité végétale et stock organique du sol (C, N) en fin de culture

Les résultats du tableau 1 montre que :

- la productivité végétale et la quantité d'azote exporté par la plante sont les plus élevées pour les traitements compost-urée (CPm-U et CP-Um),
- seuls les traitements compost-urée permettent de maintenir au niveau initial les teneurs en carbone du sol,
- seuls les traitements urée (T-Um, Pm-U, P-Um, CPm-U, CP-Um) permettent d'améliorer les teneurs en azote du sol. On notera en particulier que même les traitements (CPm-U, CP-Um) avec fortes exportations d'azote maintiennent ou améliorent les teneurs initiales azotées du sol.

Les résultats du tableau 2 indiquent la répartition de C et N dans les différentes fractions granulométriques du sol de surface.

On constate que les variations observées pour le carbone total (tableau 1) s'expliquent par celles de fractions supérieures à 200 μm

(F 2000 + F 200) qui représentent, pour les traitements avec urée T-Um, P-Um et CP-Um respectivement 12, 19 et 32 % des teneurs initiales. Les teneurs en azote total plus élevées observées avec les apports d'urée (tableau 1) sont dues pour les traitements témoin et paille (T-Um, P-Um) aux fortes valeurs de la fraction hydrosoluble W (11 à 19 %) et pour les traitements compost (CP-Um) à celles des fractions végétales supérieures à 200 μm (F 2000 + F 200). Le stockage de l'azote en fin de culture dans la fraction hydrosoluble W (T-Um, P-Um) ne présente que peu d'intérêt pour les cultures suivantes par suite des risques de pertes par lessivage ou voie gazeuse (volatilisation, dénitrification) lors des premières pluies de la saison humide. Ce n'est pas le cas pour les traitements compost-urée (CPm-U et CP-Um).

Les effets positifs observés lors des essais au champ pour les traitements compost-urée (augmentation de la productivité végétale, de la nutrition azotée de la plante, des teneurs en C et N du sol) sont donc retrouvés dans cette expérimentation en serre.

Répartition de l'azote-urée dans le système sol-plante en fin de culture

Les traitements avec urée ^{15}N permettent d'estimer les pertes, le coefficient d'utilisation de ^{15}N -urée par la plante et la répartition de ^{15}N -urée dans le sol en fin de culture.

Les résultats du tableau 3 indiquent que :
- les pertes qui sont d'environ 50 % pour les traitements témoin et paille (T-Um, P-Um) ne sont que de 21 % pour le traitement compost (CP-Um). Corrélativement le coefficient d'uti-

TABLEAU 1 - PRODUCTIVITE VEGETALE ET BILAN C, N DU SOL APRES CULTURE

Table 1 - Plant productivity and soil C and N balance after cultivation

TRAITEMENT Treatment	PARTIE AERIEUNE Aerial part		SOL SURFACE Top soil	
	POIDS (g) Weight	N exporté (g) N exportated	C (% C _o)*	N (% N _o)*
T	96	2,2	79,2	89,1
T - Um	81	2,8	86,0	110,4
Pm	52	2,2	91,7	97,3
Pm - U	101	3,3	90,7	108,6
P - Um	131	4,0	nd	110,4
CPm	340	2,4	86,1	92,5
CPm - U	636	8,0	98,0	99,5
CP - Um	698	9,6	103,8	106,5

nd = non dosé, undetermined

(*) Résultats exprimés en % de la teneur initiale du sol (C_o, N_o) avant culture et sans amendement.

Results expressed in % of the initial soil content (C_o, N_o) before cultivation and without amendment.

TABLEAU 2 - REPARTITION DES TENEURS EN CARBONE ET AZOTE DU SOL DE SURFACE APRES CULTURE

Table 2 - Carbon and nitrogen distribution of the top soil after cultivation

Résultats exprimés en % de la teneur initiale du sol (C₀, N₀) avant culture et sans amendement.

Results expressed in % of the initial soil content (C₀, N₀) before cultivation and without amendment.

TRAITEMENT Treatment	FRACTION GRANULOMETRIQUE DU SOL Soil particle size fraction									
	F 2000		F 200		F50		F01		W	
	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N
T	1,9	0,5	8,0	7,8	19,5	17,8	49,8	59,8	0	3,2
T - Um	1,5	0,7	10,3	7,7	22,5	19,0	51,7	64,5	0	18,5
Pm	1,6	0,5	16,5	11,3	20,3	21,1	53,3	64,4	0	4,9
Pm - U	2,7	1,3	16,1	11,5	17,9	19,6	54,0	65,7	0	10,5
P - Um	nd	1,9	nd	9,1	nd	18,4	nd	62,3	nd	18,7
CPm	2,6	1,0	19,0	13,1	20,7	21,6	43,8	51,2	0	5,6
CPm - U	5,1	1,7	26,4	18,8	21,8	21,3	44,7	52,9	0	4,8
CP - Um	3,7	1,3	29,3	21,5	20,5	20,9	50,3	56,7	0	6,1

nd = non dosé, undetermined

TABLEAU 3 - REPARTITIONS DE ¹⁵N-UREE ET ¹⁵N-PAILLE DANS LE SYSTEME SOL-PLANTE APRES CULTURE

Table 3 - ¹⁵N-urea and ¹⁵N straw distributions in the soil-plant system after cultivation

Résultats exprimés en % de ¹⁵N-urée apporté

Results expressed in % of added ¹⁵N-urea

TRAITEMENT Treatment	PARTIE AERIEUNE Aerial part	SOL SURFACE Top soil	SOL PROFONDEUR Subsoil	TOTAL Total	PERTES Losses
T - Um	21,7	23,2	10,5	55,4	44,6
P - Um	22,5	20,2	7,8	50,5	49,5
Pm - U	24,8	59,7	20,9	105,4	0
CP - Um	55,7	15,0	8,1	78,7	21,2

lisation de ^{15}N -urée par la plante d'environ 22 % pour T-Um et P-Um atteint 56 % pour CP-Um, - la migration en profondeur de ^{15}N -urée pour les trois traitements est identique, ce qui prouve que l'essentiel des pertes azotées dans cette expérience a lieu par dénitrification ou volatilisation, - le stockage de ^{15}N -urée dans le sol de surface est plus faible pour le traitement compost-urée (CP-Um) que pour les deux autres traitements.

Le compost permet donc une meilleure utilisation de ^{15}N -urée et limite les pertes par voie gazeuse.

La répartition de ^{15}N -urée dans les différentes fractions du sol de surface (tableau 4) fait apparaître des différences importantes entre les traitements témoin et paille d'une part (T-Um, P-Um) et compost d'autre part

(CP-Um). En % de ^{15}N total restant en fin de culture la fraction hydrosoluble W représente 60 % de ^{15}N -urée pour les traitements T-Um et P-Um et seulement 9 % pour CP-Um. Inversement les fractions "végétales" supérieures à 50 μm qui forment l'essentiel (53 %) de ^{15}N -urée pour le traitement compost (CP-Um) ne représentent que 16 % pour les traitements témoin et paille (T-Um, P-Um).

Le stockage plus important de ^{15}N -urée dans le sol pour les traitements T-Um et P-Um (tableau 2) est en fait illusoire car il concerne la fraction hydrosoluble W. Nous avons déjà vu ci-dessus le faible intérêt que présente cette fraction pour le stockage de l'azote. Par contre, une part importante de ^{15}N -urée est stockée pour le traitement compost (CP-Um) dans les fractions "végétales" de tailles supérieures à 50 μm . Bien que dans cette expérience les

TABLEAU 4 - RÉPARTITIONS DE ^{15}N -URÉE ET ^{15}N -PAILLE DANS LE SOL DE SURFACE APRES CULTURE

Table 4 - ^{15}N -urea and ^{15}N -straw distributions in the top soil after cultivation

Résultats exprimés en % de la teneur du sol de surface après culture
Results expressed in % of the top soil content after cultivation

TRAITEMENT Treatment	FRACTION GRANULOMETRIQUE DU SOL Soil particle size fraction				
	F 2000	F 200	F 50	FOM	W
T - Um	1,9	7,1	7,7	22,7	60,6
P - Um	3,1	6,5	8,0	21,5	60,9
Pm - U	3,9	33,3	23,3	29,8	9,7
CP - Um	3,5	28,9	20,3	37,7	9,3

TABLEAU 5 - RÉPARTITIONS ^{14}C -PAILLE ET ^{15}N -PAILLE DANS LE SOL DE SURFACE APRES CULTURE

Table 5 - ^{14}C -Straw and ^{15}N -Straw distribution in the top soil after cultivation

Résultats exprimés en % de la teneur du sol de surface après culture
Results expressed in % of the top soil content after cultivation

TRAITEMENT Treatment	FRACTIONNEMENT GRANULOMETRIQUE DU SOL Soil particle size fraction									
	F 2000		F 200		F 50		FOM		W	
	^{14}C	^{15}N	^{14}C	^{15}N	^{14}C	^{15}N	^{14}C	^{15}N	^{14}C	^{15}N
Pm	8,6	1,6	54,7	36,9	15,5	25,6	18,9	32,2	2,3	3,7
Pm - U	13,1	3,9	53,4	33,3	11,9	23,3	19,2	29,8	2,4	9,7

racines vivantes n'aient pas été séparées du sol il est permis de penser que ^{15}N -urée de ces fractions correspond à l'azote racinaire de la plante récoltée, puisque, pour les trois traitements, ^{15}N -urée de F 2000, F 200 et F 50 représente un pourcentage constant (18, 16 et 15 %) de ^{15}N -urée des parties aériennes (malgré des productivités végétales différentes). Nous appellerons ce processus de réorganisation de l'azote-engrais "voie racinaire" par opposition à une "voie microbienne" (immobilisation de N-engrais par les microorganismes en présence de substances carbonées) et une voie "physico-chimique" (fixation de NH_4 par le complexe organo-minéral). En conditions de bonne productivité végétale la "voie racinaire" est dominante (CP-Um). Dans les autres cas (T-Um, P-Um) le stockage racinaire est faible sans pour autant que soient favorisées les "voies microbienne ou physico-chimique" malgré la présence d'urée et de résidus végétaux en excès.

Comparaison de la répartition des différentes formes d'azote (azote-urée, azote-paille) dans le système sol-plante en fin de culture

Les deux traitements P-Um et Pm-U permettent de comparer, dans des conditions agronomiques strictement similaires, les répartitions de ^{15}N -urée (P-Um) et de ^{15}N -paille (Pm-U) dans le système sol-plante (tableaux 3 et 4).

Les quantités initiales d'azote (^{15}N -urée et ^{15}N -paille) ne sont pas identiques mais les coefficients d'utilisation par la plante sont les mêmes (25 %). Par contre les pertes élevées pour ^{15}N -urée (50 %) sont nulles (0 %) pour ^{15}N -paille. En % de ^{15}N restant dans le sol en fin de culture on retrouve respectivement 17,22 et 61 % de ^{15}N -urée dans les fractions végétales (F 2000 + F 200 + F 50), organo-minérale (FOM) et hydrosoluble W. La répartition de ^{15}N -paille est totalement différente : 60 % dans les fractions (F 2000 + F 200 + F 50) 30 % dans FOM et 10 % dans W. Le stockage de ^{15}N -paille s'effectue donc préférentiellement dans les fractions végétales supérieures à 50 μm et celui de ^{15}N -urée dans la fraction hydrosoluble W. Les valeurs pour la fraction organo-minérale FOM sont à peu près identiques.

Comparaison de la répartition dans le sol du carbone et de l'azote issus d'un même matériau végétal (carbone paille, azote-paille)

Les résultats sont ceux des traitements paille marquée ^{14}C ^{15}N , Pm et Pm-U (tableau 5). Ils sont exprimés en % de l'élément total (^{15}N ou ^{14}C) restant dans le sol en fin de culture (*). On n'observe pas de différences notables entre les deux traitements (pas d'effet urée sur les répartitions de C-paille et N-paille).

Plus de 50 % des deux isotopes sont retrouvés dans les fractions supérieures à 50 μm mais les répartitions de ^{14}C et ^{15}N diffèrent sensiblement. Le rapport $^{14}\text{C}/^{15}\text{N}$ est supérieur à 1 pour F 2000 et F 200 et inférieur à 1 pour F 50 et FOM. L'enrichissement en ^{15}N des fractions fines peut s'expliquer par des accumulations absolues (apports importants d'azote) et/ou relatives (pertes par minéralisation en carbone). L'accumulation relative est un processus classique d'interprétation des diminutions des rapports C/N des végétaux en cours

d'humification et suffirait à expliquer ici les différences observées. Une interprétation par accumulation absolue est envisageable aussi pour la fraction FOM car 70 % de l'azote de la paille initiale est sous forme hydrosoluble pour seulement 30 % de carbone⁹. Il est probable que le stockage des formes hydrosolubles s'effectue préférentiellement dans la fraction organo-minérale FOM par voies microbienne (bactéries de tailles inférieures à 50 μm) ou physico-chimique (fixation par le complexe argilo-humique) plutôt que dans les fractions supérieures à 50 μm .

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Seuls les apports combinés de compost et d'urée permettent à la fois une bonne productivité végétale et l'augmentation ou le maintien à son niveau initial du stock organique du sol.

La répartition de N-urée dans le système sol-plante dépend du niveau de productivité végétale. A niveau élevé on observe, une bonne utilisation de N-urée par la plante, une réorganisation importante de N-urée dans les fractions végétales supérieures à 50 μm (grâce au système racinaire de la culture en cours) et une limitation des pertes par dénitrification, volatilisation et lessivage (faible stockage de N-urée dans la fraction hydrosoluble). A une productivité végétale médiocre correspond un faible coefficient d'utilisation de N-urée, des pertes importantes par volatilisation, dénitrification et lessivage (stockage élevé de N-urée dans la fraction hydrosoluble), une faible réorganisation de N-urée dans les fractions organiques et organo-minérale du sol. Quelque soit le niveau de productivité végétale on constate un taux faible et constant (environ 5 % de N-urée apporté) de réorganisation de N-urée dans la fraction organo-minérale de ces sols sableux.

Les pertes et la répartition de l'azote dans le sol en fin de culture dépendent de la nature de l'apport. En conditions identiques les pertes par voie gazeuse sont nulles pour N-paille et très élevées pour N-urée, le stockage dans le sol s'effectue préférentiellement dans les fractions supérieures à 50 μm pour N-paille et dans les fractions hydrosoluble et organo-minérale pour N-urée. Seule une productivité végétale élevée (traitement compost) peut assurer une réorganisation importante de N-urée en azote organique non hydrosoluble.

La comparaison de C-paille (*) et N-paille en fin de culture indiquent que ces deux éléments sont retrouvés préférentiellement dans les fractions végétales supérieures à 50 μm . Toutefois leur répartition diffère sensiblement, les fractions fines F 50 et FOM étant enrichies en N-paille par rapport aux fractions grossières F 200 et F 2000. Ces variations peuvent s'expliquer en partie par la composition de la paille initiale en substances hydrosolubles (contenus cellulaires) : 70 % pour l'azote, 30 % pour le carbone.

Cet ensemble de résultats illustre pour ces sols sableux tropicaux la prédominance à court et moyen terme d'une humification par "voie résiduelle" ou "héritée" (stockage de la matière organique sous forme de résidus végétaux à divers degrés d'humification) sur la "voie soluble" (néogenèse de composés humiques à par-

* Par rapport à la dose initiale les pertes respectives pour ^{15}N -paille, ^{14}C -paille et ^{14}C -compost sont respectivement de 0,60 et 80 %.

(*) Les répartitions dans le sol de ^{14}C -compost (CPm et CPm-U) ne sont par rapportés ici mais sont identiques à celles de ^{14}C -paille (Pm et Pm-U)

tir de monomères ou oligomères solubles provenant de la décomposition des cellules végétales ou microbiennes ou la "voie physico-chimique" (fixation de NH_4 ou de composés organiques par le complexe minéral). L'importance de cette "voie résiduelle" est mise en évidence non seulement pour le carbone ou l'azote des résidus (stockage sous forme végétale dans les fractions supérieures à $50 \mu\text{m}$) mais aussi pour l'azote-urée dont le seul stockage important en azote organique non hydrosoluble n'a pu être observé que pour le traitement compost dans les fractions supérieures à $50 \mu\text{m}$ ("voie racinaire"), la réorganisation dans la fraction organo-minérale restant toujours faible même en présence d'excès d'urée (traitements paille et témoin).

En conclusion, l'analyse de l'ensemble du système sol-plante (et non pas uniquement du sol ou de la plante) est nécessaire à la compréhension des processus d'humification et à la gestion raisonnée des différentes formes d'engrais pour la nutrition minérale de la plante et le maintien de la fertilité des sols.

L'approche utilisée paraît bien adaptée à cette analyse puisqu'elle permet par une seule méthode une caractérisation, des compartiments d'entrée et de stockage(*) du système et par utilisation de traceurs une mesure des pertes, exportations et transferts de matière.

SUMMARY

After 4 successive years of crop residues amendment (compost) and nitrogen fertilization (urea), results of field experiments in a semi-arid tropical zone (Senegal) on a sandy soil very poor in organic matter indicated an increase in C and N soil contents and nitrogen availability for millet under intensive cultivation. The respective effects of chemical and organic fertilization were studied in a pot experiment with ^{15}N -urea and ^{14}C ^{15}N maize crop residues (straw and composted straw). Distribution of isotopes and organic matter within soil fractions were recorded by a particle size fractionation using successive dry and wet sievings. 5 size fractions were therefore obtained: 3 fractions superior to $50 \mu\text{m}$ where organic matter corresponded to plant residues at different humification stages, an organo-mineral fraction $0-50 \mu\text{m}$ (humus s.s.) and a water-soluble fraction. High plant productivity, high N-urea utilization, low N-urea losses and increase in soil C and N contents were only recorded with the compost treatment (PC) as compared to the control without amendment (T) and to the straw amendment (F). In PC treatment, nitrogen derived from urea (N-urea) was mainly present in form of the fractions superior to $50 \mu\text{m}$ (indicating a nitrogen reorganization by the root system) whereas for P and T, N-urea was more important in the water-soluble fraction, fraction which is susceptible to losses by leaching. Humification processes were mainly due to "residual" pathway as the remaining C and N-organic amendment were located in fraction superior to $50 \mu\text{m}$. However, C and N-straw distributions in soil were significantly different and might be correlated with the initial straw com-

(*) compartiments d'entrée = fractions hydrosolubles (engrais solubles, exsudats racinaires, contenus cellulaires végétaux) et fractions non hydrosolubles (parois cellulaires végétales)
compartiments de stockage = sol (fractions végétales, organo-minérale et hydrosoluble).

position.

In conclusion, the size fractionation of soil organic matter associated with tracer technics was a powerful method for studying plant residues decomposition and interactions between organic matter and chemical nitrogen in the soil-plant system.

REFERENCES

- 1 PICHOT J. (1975) - Le rôle de la matière organique dans la fertilité du sol. *L'Agron. Trop.*, 30 (2), 170-175.
- 2 BOUYER S. (1959) - Etude de l'évolution du sol dans un secteur de modernisation agricole au Sénégal. CCTA, 3e Conf. *Interafr. des sols*, Dakar, 2, 841-850.
- 3 DIATTA S. (1975) - Evolution sous culture des sols de plateau de Casamance continentale. *Compte-rendu deux années d'essai. L'Agron. Trop.*, 30 (4), 344-353.
- 4 FAUCK R., MOUREAUX C. et THOMANN C. (1969) - Bilan de l'évolution des sols à Sefa (Casamance, Sénégal) après quinze années de culture continue. *L'Agron. Trop.*, 24 (3), 263-301.
- 5 FELLER C. et MILLEVILLE P. (1977) - Evolution des sols de défriche récente dans la région des Terres Neuves (Sénégal oriental). 1ere partie. *Cah. ORSTOM, sér. Biol.*, 12 (3), 199-211.
- 6 SIBAND P. (1974) - Evolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. *L'Agron. Trop.*, 29 (12), 1228-1248.
- 7 FELLER C., GANRY F., CHEVAL M. (1981) - Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agrosystème tropical - I - Influence d'une fertilisation azotée (urée) et d'un amendement organique (compost) sur la répartition du carbone et de l'azote dans différents compartiments d'un sol sableux. *L'Agron. Trop.*, 36 (1), 9-17.
- 8 GUIRAUD G., GANRY F. et LLIMOUS G. (1980) - Etude au moyen de ^{15}N de l'influence de l'enfouissement répété de compost de paille de mil sur la disponibilité de l'azote d'un sol sableux tropical. *L'Agron. Trop.*, 25 (3), 215-219.
- 9 FELLER C., GUIRAUD G., HETIER J.M. et MAROL C. (1982) - Etude par fractionnement granulométrique de la matière organique d'un sol tropical cultivé en présence de résidus de récolte (^{14}C ^{15}N) et d'urée (^{15}N) marqués. *Proc. 12th Int. Cong. Soil Sci.*, New-Dehli, Inde.
- 10 FELLER C. (1979) - Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Application aux sols tropicaux, à textures grossières très pauvres en humus. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 18 (4), 339-346.
- 11 LADD J.N., PARSONS J.W. et AMATO M. (1977) - Studies of nitrogen immobilization and mineralization in calcareous soils. I - Distribution of immobilized nitrogen amongst soil fractions of different particle size and density. *Soil Biol. Biochem.*, 9, 309-318.

12 AMATO M. et LADD J.N. (1980) - Studies of nitrogen immobilization and mineralization in calcareous soils - V - Formation and distribution of isotope labelled biomass during decomposition of ^{14}C and ^{15}N labelled plant material. Soil Biol. Biochem., 12, 405-411.

13 ANDRE M., DAGUENET A., HASSIMINO D., VIVOLI J.P. et RICHAUD C. (1979) - Le laboratoire C23A. Un outil au service de la physiologie de la plante entière -I- Les chambres de culture et les systèmes de mesures associés. Ann. Agron., 30 (2), 139-151.