

ETUDE PAR FRACTIONNEMENT GRANULOMETRIQUE DE LA MATIERE ORGANIQUE D'UN  
SOL TROPICAL CULTIVE EN PRESENCE DE RESIDUS DE RECOLTE ( $^{14}\text{C}$   $^{15}\text{N}$ ) ET  
D'UREE MARQUES ( $^{15}\text{N}$ )

C. FELLER<sup>\*</sup>, G. GUIRAUD<sup>\*\*</sup> et J.M. HETIER<sup>\*\*\*</sup>

Collaboration technique C. MAROL<sup>\*\*</sup>

[<sup>\*</sup>] ORSTOM Antenne ORSTOM, DB/SRA, CEN Cadarache BP n°1, 13115  
St. Paul Lez Durance (France)

[<sup>\*\*</sup>] CEA Service de Radioagronomie, CEN Cadarache BP n°1, 13115  
St. Paul Lez Durance (France)

[<sup>\*\*\*</sup>] CNRS Centre de Pédologie Biologique, 54500 Vandoeuvre les Nancy  
(France)

RESUME

Deux cultures de mil successives ont été effectuées sur un sol sableux du Sénégal ayant reçu des apports de paille (fragments de 1cm) et d'urée marquées ( $^{14}\text{C}$   $^{15}\text{N}$ ,  $^{15}\text{N}$ ).

Après cultures, l'horizon de surface est tamisé à sec à  $2000\mu$  puis sous eau à  $200$  et  $50\mu$  permettant la séparation de trois fractions supérieures à  $50\mu$  contenant des débris végétaux (F2000, F200, F50), d'une fraction organominérale 0- $50\mu$  (FOM) et d'une fraction hydro-soluble (W).

Les coefficients d'utilisation de l'azote 15 sont tous les deux de l'ordre de 25%.

Les pertes en azote 15 sont nulles avec la paille et fortes avec l'urée (50%). Dans le sol, on retrouve l'azote 15 - paille essentiellement dans les fractions supérieures à 50 $\mu$  et dans la fraction FUM, et l'azote 15 - urée principalement dans la fraction hydrosoluble et, dans une moindre mesure, dans la fraction FUM.

Les pertes par minéralisation du carbone 14 apporté sont de 58% ; l'essentiel du carbone restant se retrouve dans les fractions supérieures à 50 $\mu$ .

Cette approche granulométrique de l'évolution de la matière organique associée à l'utilisation d'amendements marqués permet de suivre le devenir de l'apport et la participation de chacune des fractions du sol aux divers processus d'humification.

Mots-clés : sol, matière organique, fractionnement granulométrique, résidus de récolte marqués ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ ), urée marquée ( $^{15}\text{N}$ ), Sénégal.

STUDY BY SIZE FRACTIONATION OF THE ORGANIC MATTER IN A CULTIVATED  
TROPICAL SOIL FERTILIZED BY LABELLED CROP RESIDUES ( $^{14}\text{C}$   $^{15}\text{N}$ ) AND  
UREA ( $^{15}\text{N}$ )

SUMMARY

Millet was cultivated in Senegal on a sandy soil fertilized by labelled maize straw ( $^{14}\text{C}$   $^{15}\text{N}$ ) [1cm fragments] and urea ( $^{15}\text{N}$ ).

After cultivation the top soil was first dry-sieved at  $2000\mu$  then passed through, with water, 200 and  $50\mu$  sieves. Five fractions were separated : three soil fractions with plant fragments larger than  $50\mu$  (F2000, F200, F50), one organomineral fraction 0- $50\mu$  (FOM) and the water-soluble one (W).

$^{15}\text{N}$  utilization coefficients are both about 25%

$^{15}\text{N}$  losses from straw and urea are respectively 0 and 50%.

$^{15}\text{N}$  labelled straw residues are mainly represented in the upper size and organomineral fractions. Most part of urea-derived  $^{15}\text{N}$  is in water soluble and organomineral fractions.

Mineralization of  $^{14}\text{C}$  are about 60%. The main part of soil remaining  $^{14}\text{C}$  is encountered in more than  $50\mu$  fractions.

Size fractionation of labelled soil organic matter allowed to study the carbon and nitrogen plant residues transformations and the part of each fraction in the humification processes.

Keys-words : soil organic matter, size fractionation, labelled crop residues ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ ) and urea ( $^{15}\text{N}$ ), Sénégal.

ÜBERPRÜFUNG DURCH GRANULOMETRISCHE FRAKTIONIERUNG DER ORGANISCHEN SUBSTANZEN EINES TROPICALISCHEN BODENANBAUS IN GEGENWART VON MARKIERTEN ERNTERESTSTOFFEN ( $^{14}\text{C}$   $^{15}\text{N}$ ) UND HARNSTOFF ( $^{15}\text{N}$ ).

### Zusammenfassung

Zwei aufeinanderfolgende Hirsenanbauten wurden in Senegal auf sandigem Boden, unter Zulage von Maisstrohhäcksel ( $^{14}\text{C}^{15}\text{N}$ ) (1cm lang) und Harnstoff, ( $^{15}\text{N}$ ) durchgeführt.

Nach Anbau wurden die Bodenoberschichten zuerst trocken, zu  $2000\mu$  dann unter Wasser zu  $200$  und  $50\mu$ , durchsiebt. Man erhält drei Fraktionen über  $50\mu$  mit pflanzlichen Reststoffen (F 2000, F200, F 50), einer organomineralischen Fraktion 0- $50\mu$  (FOM) und einer wasserlöslichen Fraktion (W).

Die beiden Verwendungskoeffizienten des Stickstoffs 15 sind ungefähr 25%.

Mit Stroh, sind die Verluste an Stickstoff-15 gleich Null, dagegen stark mit Harnstoff (50%). Im Boden findet man den Stickstoff 15-Stroh wieder, hauptsächlich in den Fraktionen über  $50\mu$ , und in der Fraktion FOM, Stickstoff 15-Harnstoff hauptsächlich in der wasserlöslichen Fraktion (W) und in einem geringeren Ausmass in der organomineralischen Fraktion (FOM).

Die Verluste durch Mineralisation des zugefügten Kohlenstoffs 14 ergeben 58% ; der Hauptteil des restlichen Kohlenstoffs findet man in den Fraktionen über  $50\mu$  wieder.

Die granulometrische Evolutionesergreifung der organischen Bodenstoffe, unter Beifügung von nummerierten Reststoffen, erlaubt es den Werdegang der Zulagen und die Mitwirkung jeder einzelnen Bodenfraktion auf die verschiedenen Humusgestaltungs-verfahren zu verfolgen.

Schlagwörter : Boden, organischen Substanzen, granulometrische Fraktionierung, markierten Erntereststoffen ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ ) und Harnstoff( $^{15}\text{N}$ ), Sénégal.

ETUDE PAR FRACTIONNEMENT GRANULOMETRIQUE DE LA MATIERE ORGANIQUE D'UN  
SOL TROPICAL CULTIVE EN PRESENCE DE RESIDUS DE RECOLTE [<sup>14</sup>C <sup>15</sup>N] ET  
D'UREE MARQUES [<sup>15</sup>N]

C. FELLER<sup>\*</sup>, G. GUIRAUD<sup>\*\*</sup> et J.M. HETIER<sup>\*\*\*</sup>  
Collaboration technique C. MAROL<sup>\*\*</sup>

[\*] ORSTOM Antenne ORSTOM, DB/SRA, CEN Cadarache BP n°1, 13115  
St. Paul Lez Durance [France]

[\*\*] CEA Service de Radioagronomie, CEN Cadarache BP n°1, 13115  
St. Paul Lez Durance [France]

[\*\*\*] CNRS Centre de Pédologie Biologique, 54500 Vandoeuvre les Nancy  
[France]

## 1 - 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 [PICHOT 1975].

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. (Au Sénégal, travaux de BOUYER 1959, DIATTA 1975, FAUCK et al. 1969, FELLER et MILLEVILLE 1977, SIBAND 1974).

Des résultats antérieurs ont montré que sur sols sableux, il était possible d'accroître le niveau organique du sol [FELLER et GANRY, 1980] et la disponibilité de l'azote pour la plante [GUIRAUD et al., 1980] en associant enfouissement de résidus de récolte (compost) et fertilisation azotée (urée).

Afin de suivre le devenir de l'amendement organique et de la fumure azotée, nous présentons ici les résultats d'une culture de mil sur sol sableux ayant reçu deux pailles de maïs [<sup>14</sup>C <sup>15</sup>N] et de l'urée [<sup>15</sup>N] marquées. Le fractionnement de la matière organique après culture est basé sur de simples tamisages du sol à sec et sous eau [FELLER 1979].

On trouve peu de travaux sur le fractionnement granulométrique de la matière organique de sols marqués. Les études récentes de AMATO et LADD (1980), LADD et al. (1977) sur la répartition de traceurs apportés sous formes de nitrate, glucose ou matériaux végétaux finement broyés (pailles de blé ou feuilles de luzerne) aux cours d'expériences d'incubations sont difficilement comparables au travail présenté ici : apport végétal non broyé (fragments de taille d'environ 1cm), culture et non pas incubation, répartition des traceurs <sup>différente: k</sup> trois fractions de tailles supérieures à 50 $\mu$  (éléments figurés à divers degrés d'humification), une fraction fine considérée comme humifiée dans son ensemble et une fraction hydrosoluble.

## 2 - MATERIEL ET METHODES

### 2.1. Sol

Le sol utilisé est l'horizon de surface (0-20 cm) d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé [Class. CPCS 1967] tamisé à 2mm. Ses principales caractéristiques analytiques sont résumées dans le tableau 1:

Tableau 1 - Caractéristiques du sol "Dior" (Sénégal)

Sg%	SF%	Lg%	LF%	A%	C%	N%	C/N	pH	CEC	S/T
24,0	64,1	4,0	3,0	4,0	2,15	0,20	10,8	5,5	1,6	50

### 2.2. Les pailles marquées

Ne disposant pas de paille doublement marquée, nous avons utilisé comme "paille marquée" [ $^{14}\text{C}$   $^{15}\text{N}$ ] pour chaque répartition du traitement A, le mélange suivant :

- 2,2g paille de maïs [ $\frac{1}{2}$ ] marquée  $^{14}\text{C}$  : provenance CEA (France) (ANDRE et al. 1978)
- 1,0g paille de maïs [ $\frac{1}{2}$ ] marquée  $^{15}\text{N}$  : culture de maïs en présence de nitrate de calcium  $^{15}\text{N}$  (laboratoire pédologie URSTOM, Sénégal)
- 6,8g paille de maïs [ $\frac{1}{2}$ ] non marquée : provenance CEA (France)

Le mélange ainsi obtenu constitué de débris végétaux de tailles supérieures à 2mm (0,5 à 1cm) présente les caractéristiques suivantes :

C% = 392 , N% = 26,9 ,  $\frac{\text{C}}{\text{N}}$  = 14,6 , E% [excès isotopique] = 1,23  
RAS (radioactivité spécifique en KBq/gC) = 288

Chaque répétition du traitement B a reçu 10,0g de la paille de maïs non marquée.

Une extraction à l'eau des pailles marquées (agitation 15', 20°, filtration papier Duneux n°111) permet d'obtenir 30% de carbone 14 et 70% de l'azote 15 (dont 30% de nitrates marqués  $^{15}\text{N}$ ) sous formes hydrosolubles.

### 2.3. Dispositif expérimental

L'expérience effectuée au cours d'une saison des pluies, en serre aérée, consiste en 2 cultures successives de mil (variété ICRISAT) sur un sol sableux ayant reçu dans les 20 premiers centimètres des apports de paille et d'urée marqués.

Les deux traitements étudiés sont résumés dans le tableau 2.

Tableau 2 - Présentation des traitements

Traitement n°	A	B
Fertilisation P : supertriple K : chlorure de potassium	100 mg $\text{P}_2\text{O}_5$ / Kg sol 100 mg $\text{K}_2\text{O}$ / Kg sol	
N : Urée	non marquée 200mg N/Kg sol	marquée $^{15}\text{N}$ 200mg N /Kg sol E% = 3,86
Paille enfouie	marquée [ $^{14}\text{C}$ , $^{15}\text{N}$ ] 1,5mg MS/Kg sol RAS = 290 kBq/gC E% = 1,23	non marquée 1,5mg MS/Kg sol

Pour chaque traitement, 6 vases de végétation sans fonds [constituant les 6 répétitions de l'horizon de surface] remplis d'environ 7Kg de sol sont directement posés sur un bac contenant 200Kg du même sol [horizon profond]. L'ensemble est maintenu à l'humidité équivalente pendant les deux cultures successives (2x60 jours).

## 2.4. Fractionnement du sol

Par tamisages successifs à sec à  $2000\mu$  de l'échantillon total, puis sous eau à  $200$  et  $50\mu$  de  $600g$  de sol par répétition, on sépare granulométriquement les fractions suivantes [FELLER, 1979]:

taille supérieure à $2000\mu$	:	F 2000 - débris végétaux très grossiers
$200 - 2000\mu$	:	F 200 - sables + débris végétaux grossiers
$50 - 200\mu$	:	F 50 - sables + débris végétaux fins
$0 - 50\mu$	:	FOM - fraction organo-minérale humifiée
		W - fraction hydrosoluble (eaux de fractionnement)

FOM est séparé de W par floculation à pH 2,0 et centrifugation.

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 l'azote 15 [coefficient de variation de 5%] et 90 à 110% du carbone 14 [coefficient de variation de 15%]

### Carbone

Le carbone est transformé en  $CO_2$  par combustion, dosé soit par conductimétrie à l'aide d'un "carbohomat" Wosthoff [carbone total] soit piégé au moyen d'un oxidizer Packard pour être ensuite déterminé par scintillation liquide avec un compteur Intertechnique SL4221 [carbone 14].

### Azote

Les teneurs en azote total sont déterminées après attaque Kjeldahl. Les teneurs isotopiques de l'azote 15 sont obtenues par spectrométrie de masse [GUIRAUD et BERLIER, 1968] sur un Varian MAT 60 150, après transformation de sulfate d'ammonium en azote moléculaire par l'hypobromite de sodium.



### 3 - RESULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1 Bilans après culture : parties aériennes et sol (surface, profondeur)

Le bilan en azote 15 après culture apparaît dans le tableau 3. Les résultats sont exprimés en % de l'apport initial.

Pour les deux formes d'apports (urée ou paille) on retrouve environ 25% de l'azote 15 dans les parties aériennes, 80% de l'azote 15-paille sont retrouvés dans le sol contre 28% de l'azote-urée B. Les pertes nulles pour l'azote 15 - paille A sont élevées (50%) pour l'azote 15-urée B. Cette valeur des pertes est identique à celles obtenues lors d'expériences précédentes sur le même type de sol (GANRY et GUIRAUD 1978, GANRY et al. 1978)

Ainsi dans le cadre d'une mauvaise utilisation de l'urée et d'une faible productivité végétale, les pertes portent uniquement sur l'azote-urée et pratiquement pas sur l'azote-paille.

#### 3.2 Répartition des traceurs dans le sol (Tableau 4)

En vue de faciliter les comparaisons entre les différents éléments et les deux traitements, la répartition des traceurs est exprimée dans le tableau 4 en % de la quantité totale des traceurs restants dans le sol après culture.

Environ 80% de  $^{14}C$  se retrouvent dans les fractions supérieures à  $50\mu$  et seulement 20% dans la fraction organo-minérale. Ces valeurs comparées à celles du carbone total de la fraction (C%) (60% pour FOM) expriment la dominance à court terme d'une humification par voie résiduelle avec fractionnement physique des résidus végétaux apportés.

L'azote 15 provenant de la paille présente une répartition sensiblement différente de celle du carbone 14 : quantités plus faibles dans les fractions grossières F2000 et F200, plus fortes dans les fractions fines F50 et FOM et hydrosolubles W. Toutefois, l'essentiel (60%) est encore retrouvé dans l'ensemble des fractions supérieures à  $50\mu$ . Par contre, la répartition de l'azote 15 provenant de l'urée diffère fortement de celle de l'azote 15-paille, puisque plus de la moitié de l'azote 15-urée restante est encore sous forme hydrosoluble en fin d'expérience.

Ainsi, bien que plus rapide que celle du carbone, l'incorporation de l'azote aux diverses fractions organiques du sol est loin d'être achevée après une saison de végétation et la répartition obtenue varie fortement selon le type d'apport.

#### 3.3. Caractéristiques des fractions marquées (Tableau 5)

L'étude des excès isotopiques pour l'azote 15 et radioactivités spécifiques pour le carbone 14 permet de mieux préciser les voies d'humification du carbone et de l'azote selon la nature des apports : végétaux (paille) ou solubles (urée).

Tableau 3 - Bilans en  $^{14}\text{C}$  et  $^{15}\text{N}$  après culture : parties aériennes sol [surface, profondeur] et pertes.

Traitement	A		B
	$^{14}\text{C}$ % a	$^{15}\text{N}$ % a	$^{15}\text{N}$ % a
Parties aériennes	0	24,8	22,5
sol surface	42,1	59,7	20,1
sol profondeur	0,5	20,9	7,8
Total	42,6	105,4	50,5
Pertes	57,4	0	49,5

  

$^{14}\text{C}$ % a	quantité de $^{14}\text{C}$ en % de l'apport total initial
$^{15}\text{N}$ % a	quantité de $^{15}\text{N}$ en % de l'apport total initial

Tableau 4 - Répartitions du carbone ( $^{14}\text{C}$  et  $^{12}\text{C}$ ), de l'azote ( $^{15}\text{N}$  et  $^{14}\text{N}$ ) dans les différentes fractions de sol de l'horizon de surface [en % de la quantité de l'élément restant dans le sol après culture].

Traitement	A				B	
Fractions	$^{14}\text{C}$ % s	C % s	$^{15}\text{N}$ % s	N % s	$^{15}\text{N}$ % s	N % s
F 2000	13,1	3,0	3,9	1,2	3,0	1,7
F 200	53,4	17,7	33,3	10,6	6,4	8,2
F 50	11,9	19,8	23,3	18,0	7,9	16,7
FOM	19,2	59,5	29,8	60,5	21,8	56,4
W	2,4	n.d.	9,7	9,7	60,9	17,0
n.d. = non dosé						

Tableau 5 - Caractéristiques des fractions organiques marquées.

Traitement	A				B
	C/N	RAS <sup>(*)</sup>	E <sup>(*)</sup>	<sup>14</sup> C/ <sup>15</sup> N <sup>(**)</sup>	E <sup>(*)</sup>
parties aériennes	15	0	12	0	45
F 2000	22	50	32	802	34
F 200	15	34	31	386	15
F 50	10	7	13	123	9
FOM	9	4	5	154	7
W	n.d.	n.d.	10	59	67

n.d. = non dosé

[\*] = Radioactivité spécifique et Excès isotopique sont ici exprimés en % de ceux des apports.

[\*\*] = Le rapport <sup>14</sup>C / <sup>15</sup>N est exprimé en KBq par mg de <sup>15</sup>N. Le rapport pour la paille de départ est de 340.

Pour le traitement A, les radioactivités spécifiques (RAS) montrent que respectivement la moitié et le tiers du carbone des fractions F2000 et F200 restant dans le sol sont constituées de l'apport de paille. Par contre, le faible marquage des fractions plus fines F50 et FOM et hydrosoluble W est l'indice de leur faible renouvellement par les apports végétaux récents. L'excès isotopique E de la fraction FOM est également faible mais il est non négligeable pour la fraction hydrosoluble W (E=10).

Par ailleurs, il est intéressant de comparer les valeurs du rapport  $r = \frac{^{14}\text{C}}{^{15}\text{N}}$  des différentes fractions avec celle du matériau végétal initial ( $r = 340$ ). La valeur de ce rapport s'élève à 800 pour la fraction F2000 et diminue ensuite avec la taille des fractions jusqu'à 150 pour FOM (répartitions non parallèles de  $^{14}\text{C}$  et  $^{15}\text{N}$ ).

Remarquons enfin, que  $r$  égal à 800 dans la fraction F2000 est supérieur à celle des pailles initiales (340). La paille marquée résiduelle dans cette fraction a donc perdu une partie de son azote (augmentation de  $r$ ). L'analyse du mélange initial montre en effet, que 70% de l'azote  $^{15}$  total sont sous forme hydrosoluble (probablement contenus cellulaires) pour 30% seulement de carbone  $^{14}$ . A l'aide de ces données on peut alors calculer le rapport  $r$  égal à 800 de la partie insoluble du mélange végétal initial (probablement parois cellulaires) qui est donc identique à celui retrouvé dans F2000.

Il en résulte qu'à l'échelle d'une saison de culture les premières phases de transformation de l'apport végétal concernent prioritairement la redistribution du carbone et de l'azote des contenus cellulaires.

Pour le traitement B deux résultats sont à noter :

- la valeur élevée de l'excès de la fraction hydrosoluble W indice d'une faible évolution de l'urée initial restant dans le sol,
- les basses valeurs des excès des fractions fines indiquant un faible taux de renouvellement azoté de ces fractions.

#### 4 - CONCLUSIONS

Cette expérience de marquage d'un apport annuel de paille de maïs et de son évolution dans le sol en 4 mois de culture de mil nous a montré que :

- l'humification de la moitié du carbone qui reste dans le sol est à peine amorcée,
- les coefficients d'utilisation de l'azote-paille et azote-urée sont identiques mais les pertes nulles pour la paille sont de 50% pour l'urée. Qui plus est, la réorganisation de l'urée dans le sol est faible,
- les voies de répartition, à court terme, du carbone et de l'azote issus d'un même apport végétal différent sensiblement et seraient fonction de la composition initiale de matériau végétal.

Ces quelques résultats illustrent la sensibilité de cette approche granulométrique pour l'étude de la matière organique en général et des transformations des résidus de récolte en particulier.

L'utilisation de techniques isotopiques combinées avec ce type de fractionnement permet de suivre le devenir de l'apport selon sa nature [N-paille ou N-urée] ou l'élément étudié [carbone-paille, azote-paille] et la participation de chacune des fractions aux divers processus d'humification.

## BIBLIOGRAPHIE

- ANDRE [M.], DAGUENET [A.], MASSIMINO [D.], VIVOLI [J.P.], RICHAUD [C.]  
1979 - Ann. Agro. 30 [2], 139 - 151.
- AMATO [M.], LADD [J.N.] - 1980 - Soil Biol. Biochem., 12, pp 405-411.
- BOUYER [S.] - 1959 - CR. 3è Conf. Internat. des sols, Dakar, Vol II,  
pp. 841 - 850.
- DIATTA [S.] - 1975 - L'Agron. Trop., 30, 344-353.
- FAUCK [R.], MOUREAUX [C.], THOMANN [C.] - 1969 - L'Agron. Trop., 24 [3],  
263 - 301.
- FELLER [C.], MILLEVILLE [P.] - 1977 - Cah. ORSTOM. Ser. Biol. 12 [3],  
195 - 207.
- FELLER [C.] - 1979 - Cah. ORSTOM, Ser. Pedol. 17 [4], 339 - 344.
- FELLER [C.], GANRY [F.] - 1980 - FAO Soil Bulletin n°43 "Organic  
recycling in Africa, pp. 160 - 167.
- GANRY [F.], GUIRAUD [G.] - 1978 - Coll. Int. sur l'emploi des Isotopes  
et des rayonnements dans la recherche en phyto-pédologie, Collombo, 11-15  
Dec. IAEA.
- GANRY [F.], GUIRAUD [G.] DOMMERGUES [Y.] - 1978 - Plant and soil, 50 [3],  
647 - 662.
- GUIRAUD [G.], BERLIER [Y.] - 1968 - Chimie analytique, 50 [7], 379 - 384.
- GUIRAUD [G.], GANRY [F.], LLIMOUS [G.] - 1980 - L'Agron. Trop., 25 [3],  
215 - 219.
- LADD [J.N.], PARSONS [J.W.], AMATO [M.] - 1977 - Soil Biol. Biochem., 9,  
309 - 318.
- PICHOT [J.] - 1975 - L'Agron. Trop., 30 [2], 170 - 175.
- SIÉBAND [P.] - 1974 - L'Agron. Trop., 24 [12], 1228-1248.

Feller Christian, Guiraud G., Hétier Jean-Marie, Marol C. (collab.)

Etude par fractionnement granulométrique de la matière organique d'un sol tropical cultivé en présence de résidues de récolte ( $^{14}\text{C}$   $^{15}\text{N}$ ) et d'urée marqués ( $^{15}\text{N}$ ).

St Paul lez Durance : ORSTOM, 1983, 15 p. multigr.