

ETUDES ET TRAVAUX

DECOMPOSITION ET HUMIFICATION DES RESIDUS VEGETAUX DANS UN AGRO-SYSTEME TROPICAL

C. FELLER*, F. GANRY***, M. CHEVAL**

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

RESUME — Les auteurs rapportent les principaux résultats concernant la répartition du carbone et de l'azote dans un sol sableux cultivé du Sénégal, à la suite de quatre années successives d'enfouissement d'une paille de mil compostée (10 t poids sec/ha/an) en présence ou non de différentes doses d'azote (urée).

Le carbone et l'azote du sol se répartissent essentiellement dans les «matières organiques libres de taille inférieure à 2 mm (fraction **ML2**)» et dans la «fraction humifiée (fraction liée **FL**)», les «matières organiques libres de taille supérieure à 2 mm (fraction **ML1**)» ne participant que pour une faible part à la matière organique totale.

L'augmentation des teneurs en carbone et azote totaux du sol ne s'observe que pour les traitements comportant, à la fois, un amendement organique et une fumure azotée. Ces accroissements augmentent avec la dose d'azote-engrais (urée) apportée et concernent les fractions **ML2** et **FL**. La fraction **ML2** apparaît, en particulier, comme un compartiment du stockage à court terme de l'azote.

Mots-clés : Enfouissement de résidus végétaux, fertilisation azotée, compost, carbone azote/répartition fractionnairement physique au sol, matière organique, système de culture, agrosystème, humification, Sénégal.

PRESENTATION GENERALE DE L'ETUDE

De nombreuses études ont mis en évidence, pour la zone tropicale sèche, l'extraordinaire rapidité de dégradation des sols, à la suite du défrichement de la végétation naturelle et de la mise en culture. Pour le Sénégal, on peut citer les travaux de BOUYER (1959), DOMMARGUES (1956), FAUCK et al. (1969), FELLER et MILLEVILLE (1977), SIBAND (1974). Le maintien, et/ou l'amélioration durable de la fertilité de ces sols est un objectif essentiel de la recherche agronomique tropicale.

Les recherches entreprises depuis plusieurs années par l'IRAT (*) sur ce vaste programme (PICHOT, 1975) ont mis en évidence l'importance de la matière organique dans le maintien de cette fertilité, et débou-

chent sur la recherche de techniques permettant d'accroître et de stabiliser le stock organique des sols cultivés de cette région.

En effet, et particulièrement pour les sols sableux, la matière organique constitue, un facteur d'amélioration des propriétés physiques du sol, une réserve d'éléments nutritifs, et, permet, parfois, par des mécanismes spécifiques encore mal élucidés, l'augmentation des rendements culturaux par rapport aux apports d'engrais chimiques.

Dans cette optique; l'IRAT a mis en place en divers pays d'Afrique (en 1971, au Sénégal) un réseau d'essais au champ dits essais «Rôle spécifique de la matière organique» consistant en l'application de doses croissantes d'azote en présence ou en absence de matière organique (compost au Sénégal).

* FELLER (C.), Chargé de Recherche à l'ORSTOM - Centre de DAKAR (Sénégal).

** CHEVAL (M.), Technicien à l'ORSTOM

*** GANRY (F.), Ingénieur de Recherche à l'IRAT, détaché à l'ISRA - CNRA BAMBEY (Sénégal).

(*) IRAT : Institut de Recherche Agronomiques Tropicales.

18 JANV. 1984

D. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° : 4331 ex 1

Cote : B

L'objectif de l'IRAT, en ce qui concerne ces essais était, en outre, l'établissement de données pour l'étude de la rentabilité des fumures azotées et la création à moyen terme (4 ans) de sols présentant différents niveaux de fertilité.

La présente étude a été réalisée sur les échantillons de sol prélevés à l'issue de quatre années d'expérimentation agronomique. Elle illustre les enseignements qu'il est possible de tirer à partir d'analyses de carbone et d'azote sur différentes fractions de sol obtenues par simples tamisages et décantations dans l'eau.

Dans la première partie de ce travail, nous examinons l'influence d'un enfouissement de compost et de différentes doses d'engrais azotés sur le stock organique du sol après quatre années d'essai.

La deuxième partie est consacrée à l'étude de la décomposition des résidus végétaux dans le sol pendant une seule saison des pluies.

CADRE DE L'ETUDE

L'essai au champ a lieu en parcelles expérimentales au Centre National de la Recherche Agronomique de Bambey (CNRA, ISRA, Sénégal) (*) et est suivi, depuis quatre ans, sur le plan de l'analyse des rendements, des bilans d'azote et de l'évolution de la fertilité sous culture continue de céréales. Cet essai est appelé «Rôle spécifique de la matière organique».

Nous rappelons brièvement les principales caractéristiques du milieu.

Le **climat** est du type sahélo-soudanien, marqué par une seule saison des pluies entre juin et octobre avec un maximum de pluviosité au mois d'août. La pluviométrie moyenne sur 40 ans est d'environ 650 mm.

Le **modèle** est celui de vieilles dunes fixées, très aplanies.

Le **sol** est, selon la classification française, un «sol ferrugineux tropical peu lessivé sur matériau sableux» appelé localement «Dior». Il est très sableux (95 % de sables de 0 à 1 m), la fraction argileuse est essentiellement représentée par de la kaolinite. **Les teneurs en matière organique sont très faibles, 0,5 % environ en surface.** La capacité d'échange est de 2 à 3 meq/100 g. Les sols sont souvent carencés en azote, phosphore, et dans une moindre mesure, en potassium. Les principales caractéristiques de l'horizon 0 - 20 cm du sol sont présentées dans le tableau I.

Tableau I

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES DE L'HORIZON 0 - 20 cm DU SOL DE L'ESSAI «RÔLE SPECIFIQUE DE LA MATIERE ORGANIQUE»

- Granulométrie		
%	argile + limon	4.5
	sables totaux	95.1
- Carbone total %		2.83
- Azote total %		0.19
- Complexe absorbant en meq/100 g		
	Ca	0.7
	Mg	0.2
	Na	0.04
	K	0.05
	Somme = S	0.99
	Capacité d'échange = T	1.8
	S/T x 100	55
- pH eau 1/2.5		5.5

(d'après GANRY et al., 1974)

Le schéma expérimental complet est décrit par GANRY et al. (1974).

La présente étude porte sur huit sous-parcelles de 9 x 6 m ayant reçu ou non du compost et différentes doses d'engrais azotés. Leurs principales caractéristiques sont résumées dans le tableau II.

Le compost est fabriqué en fosses à partir d'une paille de mil broyée (résidus d'environ 2 à 5 cm de longueur). Des couches de paille humide sont intercalées avec de minces lits de fumier qui sert d'inoculum. La durée du compostage est de 4 à 6 mois et le rapport C/N passe de 45 environ pour la paille de départ, à 20 pour le compost.

Le compost, apporté chaque année en fin de cycle (octobre), est enfoui par un labour profond à environ 20 cm en même temps que les résidus de la récolte passée (tiges de mil non exportées). Les sous-parcelles (A) ont reçu pour les années 1972, 1973, 1974 et 1975, respectivement, 9.3, 10.0, 15.0, et 9.3 T/ha de matières sèches. Sur les sous-parcelles (S), seuls les résidus de la récolte passée sont annuellement enfouis par labour.

En 1976, date à laquelle est effectué ce travail, aucun apport de compost n'a accompagné le labour de fin de cycle, si bien que les prélèvements étudiés ici (début de saison sèche) permettent de faire le bilan organique de quatre années de culture, avec, et sans apport de compost.

(*) - CNRA : Centre National de la Recherche Agronomique.
- ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles.

Tableau II
PRESENTATION DES DIFFERENTS TRAITEMENTS

Traitement (*)	Fumure minérale d'entretien (P, K, S) P205 : 100 kg/ha S : 10 kg/ha K20 : 100 kg/ha	Fumure azotée kgN/ha	Apport de compost
1A	non	0	oui
1S	non	0	non
2A	oui	0	oui
2S	oui	0	non
4A	oui	60	oui
6A	oui	120	oui
7A	oui	150	oui
7S	oui	150	non

(*) A signifie : avec apport de compost.
S signifie : sans apport de compost.

PRELEVEMENTS ET METHODES D'ANALYSE

PRELEVEMENTS ET ETUDE STATISTIQUE PREALABLE

L'échantillon de sol prélevé est fractionné en (fig. 2) :

- résidus végétaux de taille supérieure à 2 mm (fraction **ML1**),
- résidus végétaux de taille inférieure à 2 mm (fraction **ML2**),
- sol débarrassé de l'ensemble des matières organiques libres **ML1** et **ML2** et appelé «fraction liée **FL**».

Par suite de la technique d'enfouissement utilisée (labour), la distribution spatiale de la matière organique est extrêmement hétérogène, et nous a obligé à une étude statistique préalable, pour déterminer l'importance des prélèvements à effectuer sur chaque traitement.

Le risque d'erreur le plus important concerne l'estimation de la fraction **ML1** (résidus végétaux de taille supérieur à 2 mm obtenus par tamisage à sec), et l'effort statistique a donc porté sur cette fraction.

Nous nous sommes placés dans les conditions les plus défavorables (saison sèche, après enfouissement de compost) sur le traitement 2A.

Nous avons effectué 64 prélèvements à la bêche (chaque prélèvement ramène environ 3 à 4 kg de sol) sur une profondeur de 20 cm. Cinq échantillons, ayant des teneurs en résidus végétaux anormalement élevées, par suite de la présence de plateaux de tallage du mil ayant échappé au broyage préliminaire du compost, ont été éliminés. L'étude porte donc finalement sur 59 échantillons.

Les résultats apparaissent dans les tableaux III et IV. Ils sont exprimés en milligramme de matière végétale sèche par gramme de sol (mg MS/g sol), et sont regroupés en 9 classes de largeur égale à 0,5 %.

Tableau III

MOYENNE, ECART-TYPE ET INTERVALLE DE CONFIANCE DE LA TENEUR EN RESIDUS VEGETAUX DE TAILLE SUPERIEURE A 2 mm DANS UN SOL SABLEUX (59 prélèvements, traitement 2A)

Moyenne mg MS/g sol	Ecart-type mg MS/g sol	Intervalle de confiance de la moyenne en	
		mg MS/g sol	% de la moyenne
1.53	0.95	0.24	16

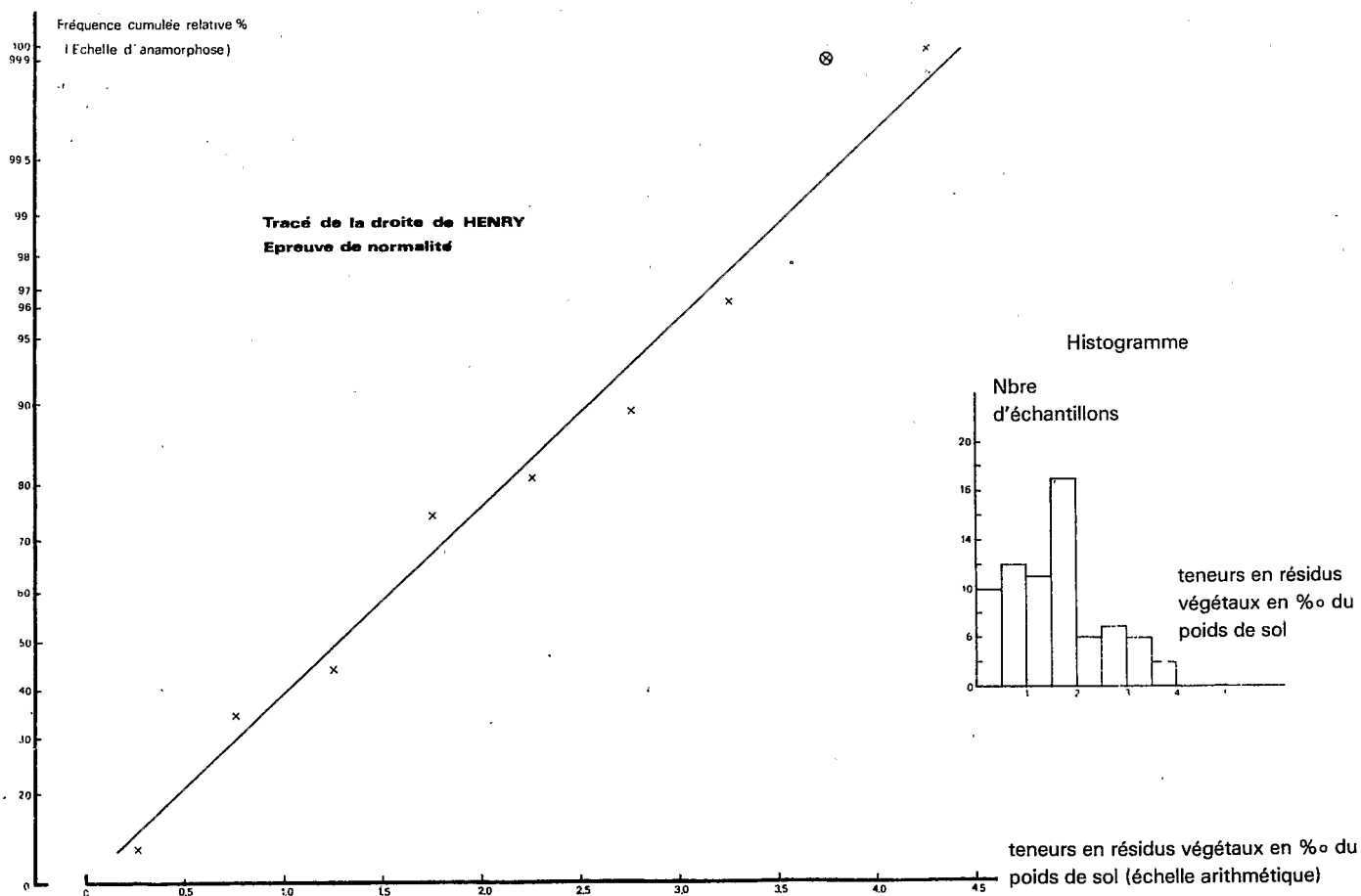
Tableau IV

DISTRIBUTION DES TENEURS EN RESIDUS VEGETAUX DE TAILLE SUPERIEURE A 2 mm SUR 59 PRELEVEMENTS DU TRAITEMENT 2A

Limite de classe	Centre de classe	Fréquence	Fréquence cumulée	Fréquence cumulée relative
0 - 0.5	0.25	8	8	13.6
0.5 - 1.0	0.75	10	18	30.6
1.0 - 1.5	1.25	9	27	45.8
1.5 - 2.0	1.75	17	44	74.6
2.0 - 2.5	2.25	4	48	81.4
2.5 - 3.0	2.75	5	53	89.8
3.0 - 3.5	3.25	4	57	96.6
3.5 - 4.0	3.75	2	59	100.0
4.0 - 4.5	4.25	0	59	

La figure 1 présente l'histogramme ainsi que le tracé de la «droite de Henry» qui sert «d'épreuve de normalité» (SCHWARTZ, 1963).

FIG. 1 — HISTOGRAMME ET EPREUVE DE NORMALITE SUR 59 PRELEVEMENTS DU TRAITEMENT 2A



Malgré l'allure dissymétrique de l'histogramme, l'«épreuve de normalité» indique que la distribution des prélèvements suit une loi à peu près normale puisque les points, avec l'échelle gaussienne des ordonnées, se répartissent selon une droite.

Il en résulte que, pour 60 prélèvements environ, et au risque 5 %, la moyenne obtenue, rapportée à un indice 100, présente un intervalle de confiance d'environ 16 %.

Cette précision nous paraît acceptable et le nombre de 60 prélèvements par sous-parcelle (soit environ 240 kg de sol) est retenu pour la comparaison des différents traitements.

FRACTIONNEMENT DE LA MATIERE ORGANIQUE

Le schéma de fractionnement apparaît sur la figure 2.

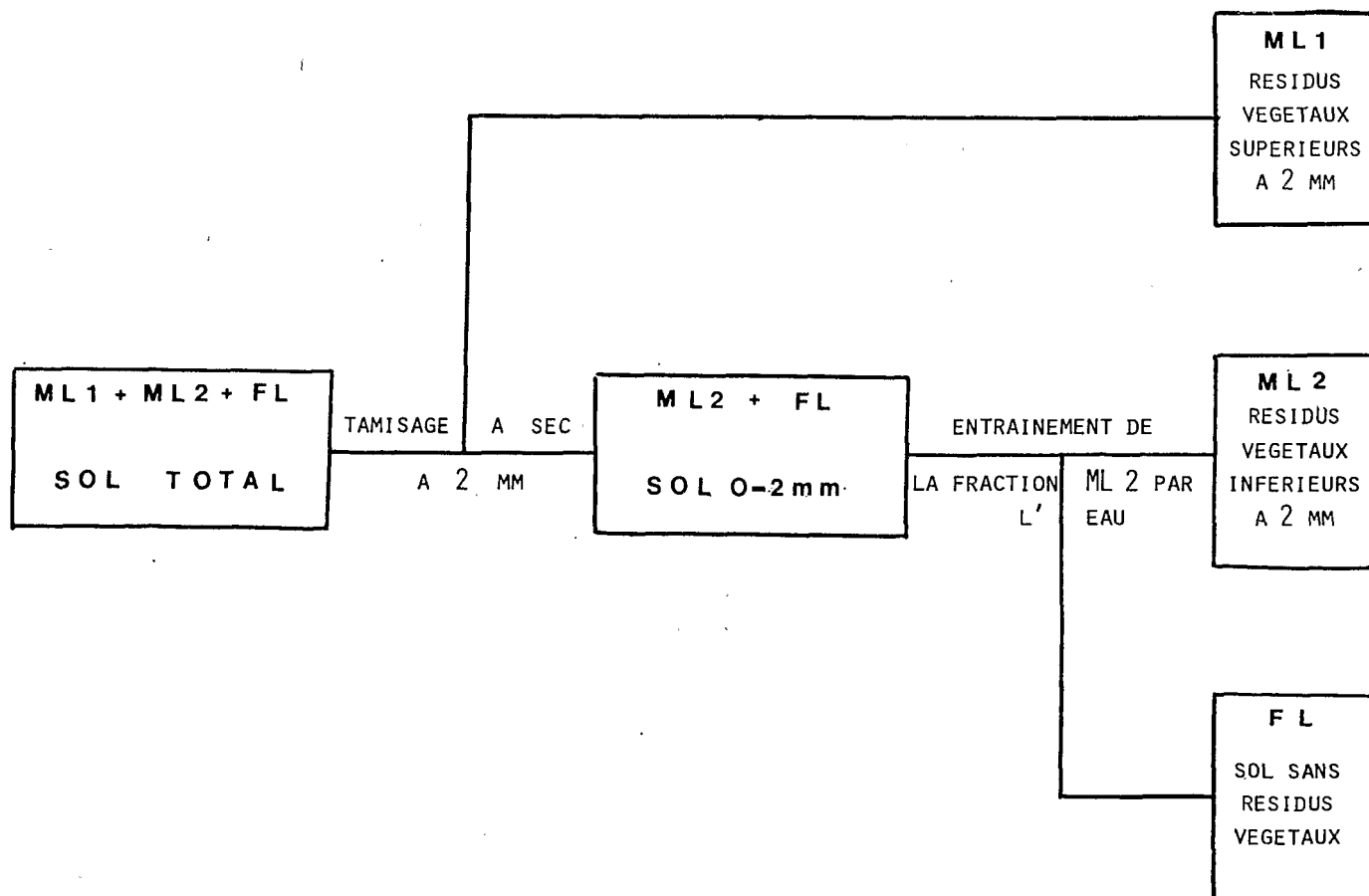
Débris végétaux de taille supérieure à 2 mm : fraction ML1 (matières organiques libres n° 1)

L'ensemble de l'échantillon de sol, environ 240 kg, est tamisé à sec à 2 mm. Le refus au tamis est ensuite débarrassé des sables par flottation dans l'eau, séché à 50° pendant 4 jours, pesé, puis broyé finement (fraction **ML1**).

Débris végétaux de taille inférieure à 2 mm : fraction ML2 (matières organiques libres n° 2).

2 kg du sol tamisé à 2 mm et débarrassé de la fraction **ML1**, sont mis à décanter par fractions successives dans environ 10 litres d'eau. Par simple agitation manuelle du sol sous eau et décantations successives, les résidus végétaux inférieurs à 2 mm sont entraînés avec l'eau de fractionnement, passés sur un tamis de 0,05 mm, lavés à l'eau, séchés à 50° pendant 4 jours et broyés finement (fraction **ML2**).

FIG. 2 — SCHEMA DE FRACTIONNEMENT D'UN SOL SABLEUX



Les eaux de fractionnement (10 litres) et de lavage de la fraction **ML2** sont réunies et acidifiées par l'acide chlorhydrique 12 N à pH 2.0. Par décantations puis centrifugations des eaux surnageantes, suivies de deux lavages à l'eau du culot de centrifugation pour éliminer l'excès d'acide, on récupère les particules inférieures à 0,05 mm entraînées lors de l'extraction de la fraction **ML2**. Elles sont alors jointes au sol débarrassé des résidus végétaux inférieurs à 2 mm.

Après contrôle de leurs teneurs négligeables en carbone et azote, les eaux de fractionnement sont éliminées.

Fraction humifiée de la matière organique : «fraction liée» FL

Le résidu de sol après séparation à l'eau de la fraction **ML2** est séché à 50° pendant 4 jours et broyé finement.

METHODES D'ANALYSE

Les matières sèches (MS) sont déterminées par séchage à 105° pendant 24 heures.

Les matières minérales (MM) sont obtenues par calcination à 750° pendant 4 heures.

Le carbone (C) est dosé par voie sèche au Carmograph.

L'azote (N) est dosé automatiquement par colorimétrie (Berthelot) après minéralisation selon la méthode Kjeldahl.

RESULTATS ET DISCUSSION

REPARTITION DU CARBONE DANS LES DIFFERENTES FRACTIONS DU SOL

Les résultats détaillés peuvent être consultés dans le tableau V et sont schématisés sur la figure 3 qui permet de suivre les variations absolues des teneurs en carbone (mgC/g sol).

FIG. 3 — REPARTITION DU CARBONE DANS DIFFERENTS COMPARTIMENTS DU SOL EN FONCTION DE DOSES CROISSANTES D'UREE ET D'APPORT (OU NON) DE COMPOST

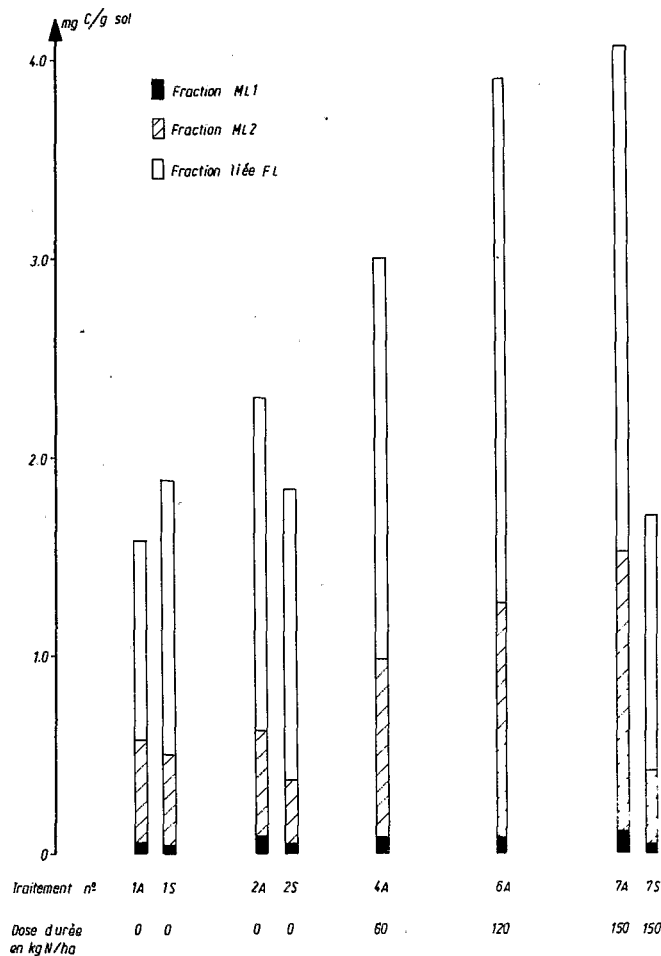


Tableau V
TENEURS EN CARBONE DES DIFFERENTES FRACTIONS
(en mg C/g de sol et en % du carbone total)

Fraction	ML1		ML2		FL		CT Carbone Total
	Traitement n°	mgC/g sol	% carbone total	mgC/g sol	% carbone total	mgC/g sol	
1A	0.06	3.8	0.52	32.9	1.00	63.3	1.58
1S	0.04	2.1	0.46	24.5	1.38	73.4	1.88
2A	0.09	3.9	0.53	23.0	1.68	73.0	2.30
2S	0.05	2.7	0.33	17.9	1.46	79.4	1.84
4A	0.08	2.7	0.90	30.0	2.02	67.3	3.00
6A	0.08	2.1	1.19	31.4	2.52	66.5	3.72
7A	0.11	2.7	1.41	34.7	2.54	62.6	4.06
7S	0.05	2.9	0.37	21.8	1.28	75.3	1.70

Les fractions **ML1** ne représentent que 2 à 3 % du carbone total alors que les fractions **ML2** (20 à 35 %) et **FL** (60 à 80 %) en constituent l'essentiel.

Bien que l'apport de matière organique soit effectué sous la forme de résidus végétaux de taille supérieure à 2 mm (**ML1**), ceux-ci disparaissent pratiquement au cours de la saison des pluies, et ne participent, finalement, au bilan du carbone, sous leur taille initiale, que pour une part infime.

De l'observation de la figure 3, il ressort que :

1) pour les traitements sans compost, les teneurs en carbone des différentes fractions restent constantes quelles que soient les doses d'azote et de fumure minérale (traitements 1S, 2S, 7S).

2) hormis le traitement 1A pour lequel on observe une diminution de la fraction liée et du carbone total par rapport au témoin, dans les autres cas, le compost enrichit le sol en carbone dans toutes les fractions ;

3) on note un effet spectaculaire de l'urée sur les fractions **ML2** et **FL** des traitements avec compost. L'augmentation va jusqu'à 140 % pour la dose 150 kgN/ha et représente 100 % à la dose 90 kgN/ha qui est souvent retenue dans les études de fertilité pour les sols du CNRA de Bambey. Aucune variation par contre, n'est observée pour la fraction **ML1** et l'augmentation par rapport au témoin est très faible ;

4) même sans urée, le compost associé à la seule fumure minérale d'entretien (P, K, S) permet l'accroissement de 25 % du carbone total (traitement 2A). Par contre, l'apport de compost en l'absence de fumure minérale et azotée (traitement 1A), entraîne une diminution notable de la fraction liée **FL et donc du carbone**

total (les fractions ML1 et ML2 restant à peu près constantes).

REPARTITION DE L'AZOTE DANS LES DIFFERENTES FRACTIONS DE SOL

Les résultats figurent dans le tableau VI et sont **schématisés** sur la figure 4.

L'azote se répartit essentiellement entre les fractions **ML2** (6 à 26 %) et **FL** (72 à 94 %), la fraction **ML1** ne représentant dans le meilleur des cas que 1,7 % de l'azote total bien que dans les traitements avec apport de compost une partie importante de l'azote (120 kgN/ha/an) soit fournie au sol sous cette forme.

Quelle que soit la dose d'urée ajoutée, aucune augmentation d'azote dans le sol n'est observée pour les **traitements sans apport de compost** (1S, 2S, 7S). Il y aurait même tendance à une diminution des teneurs en azote dans la fraction **FL** pour les doses élevées d'azote-engrais (urée).

Par contre, pour les **traitements avec apport de compost** (1A, 2A, 4A, 7A) on note une augmentation du stock d'azote total du sol (**NT**) avec les doses croissantes d'urée. Cet accroissement concerne essentiellement la fraction **ML2** et, dans une moindre mesure, la fraction **FL**. Aucune variation n'est observée pour la fraction **ML1**.

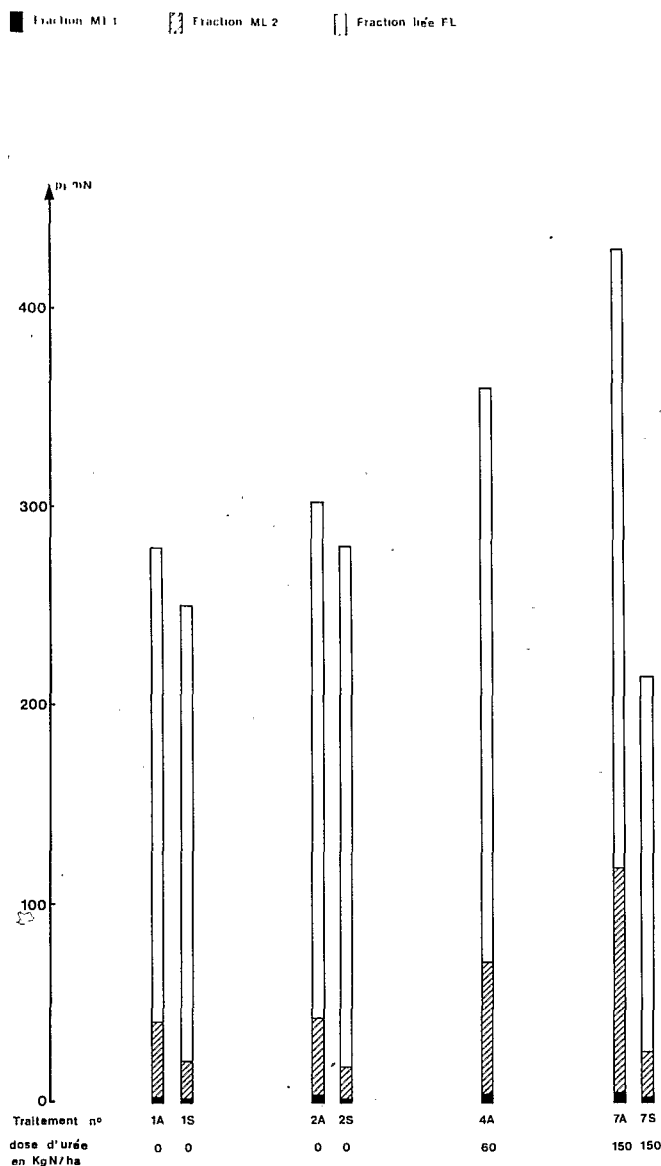
Enfin, pour une même dose d'urée, la quantité d'azote total stockée dans le sol pour les traitements avec apport de compost (1A, 2A, 4A, 7A) est toujours supérieure à celle des traitements sans amendement organique.

Tableau VI

TENEURS EN AZOTE DES DIFFERENTES FRACTIONS DU SOL
(exprimées en ppm d'azote par rapport au poids de sol,
en kg d'azote par hectare et en % de l'azote total)

Fraction Traitement n°	ML1			ML2			FL			NT	
	N ppm	N kg/ha	N % NT	N ppm	N kg/ha	N % NT	N ppm	N kg/ha	N % NT	N ppm	N kg ha
1A	2,0	6	1,7	37	111	13,3	240	720	86,0	279	837
1S	1,0	3	0,4	39	57	7,7	230	690	91,9	250	750
2A	3,9	12	1,3	38	114	12,5	260	780	86,2	302	906
2S	1,2	4	0,4	16	48	5,6	270	810	94,0	280	840
4A	3,7	11	1,0	66	198	18,2	290	870	80,8	359	1 077
7A	5,0	15	1,2	113	339	26,4	310	930	72,4	428	1 284
7S	1,7	5	0,8	23	69	10,5	190	570	88,7	214	642

FIG. 4 — REPARTITION DE L'AZOTE DANS DIFFERENTS COMPARTIMENTS DU SOL EN FONCTION DE DOSES CROISSANTES D'UREE ET D'APPORT (OU NON) DE COMPOST



CONCLUSIONS.

Ces données montrent que, sous culture continue, l'amélioration du stock de matière organique (C, N) de sols sableux pauvres en humus des régions tropi-

cales semi-arides n'est envisageable que si les techniques culturales associent amendement organique et fertilisation azotée (urée).

Bien que les seuls apports d'urée puissent maintenir une productivité végétale moyenne à élevée à court terme (GANRY et al. 1974, GANRY 1979), la chute du potentiel de fertilité du sol à moyen et long terme est probable. On notera, qui plus est, dans l'exemple étudié que de fortes doses d'urée (traitement 7S) semblent même favoriser une diminution du stock d'azote total du sol par rapport aux traitements (1S, 2S) n'ayant reçu aucun apport d'azote-engrais.

Par contre, l'apport combiné de compost et d'urée permet, aux doses moyennes d'urée, non seulement l'accroissement de la productivité végétale mais aussi celui du stock de carbone et d'azote du sol, éléments essentiels de la fertilité. L'augmentation concerne surtout les fractions **ML2** et **FL**, la fraction **ML1** n'intervient pratiquement pas dans le bilan de matière organique.

Diverses hypothèses peuvent être invoquées pour interpréter le rôle de l'urée et du compost :

— Le rôle nutritionnel du compost

En l'absence d'azote et de fumure minérale, le compost fonctionne surtout comme une réserve d'éléments nutritifs pour la microflore et secondairement pour la plante. SIBAND et GANRY (1976) ont, en effet, montré que le compost ne participe que faiblement, en absence de fumure azotée, à la nutrition de la **plante**. Le compost est totalement minéralisé. Le bilan de l'humification est alors négatif (traitement 1A) ou faiblement positif (traitement 2A). Par contre, en présence de forts apports minéraux, les besoins azotés de la microflore sont assurés en partie par l'engrais, et la minéralisation du compost est réduite ;

— Le rôle protecteur de l'azote

La présence d'azote permet la synthèse de composés humiques stables, à la surface ou au sein même des résidus végétaux, qui peuvent exercer un effet protecteur vis-à-vis de l'action minéralisatrice de la microflore.

— L'accroissement du système racinaire

La présence simultanée d'azote et de compost accroît la production végétale en général, et racinaire en particulier et permet ainsi indirectement l'augmentation des apports organiques au sol sous forme de résidus et d'exudats racinaires ;

Sur un plan plus fondamental, il est intéressant de noter que la méthode de fractionnement élémentaire basée sur de simples tamisages et décantations dans l'eau, utilisée dans ce travail, permet de définir dans le sol trois compartiments : deux compartiments organiques (**ML1** et **ML2**) et un compartiment organo-

minéral (FL), qui interviendraient comme suit dans le flux de carbone et d'azote dans les agro-systèmes :

— la fraction **ML1** représenterait le **compartiment d'entrée** du carbone et de l'azote apportés au sol sous forme de résidus de récolte. La fraction correspondante, très labile, disparaît quasi-totalement (minéralisation, division physique des résidus végétaux, humification) pendant le cycle cultural au cours de la saison des pluies. Peu de possibilités de stockage existent sous cette forme.

— la fraction organique **ML2** représenterait le «**compartiment relais de stockage à court terme**» du carbone et surtout de l'azote. L'accumulation peut y être rapide et importante ;

— la fraction organo-minérale **FL** représenterait un **compartiment de réserve**. Les variations faibles pour l'azote y sont plus élevées pour le carbone.

Remerciements

Nous remercions vivement MM. Y. DOMMERGUES, J. PICHOT et C. PIERI, pour l'intérêt qu'ils ont porté à cette étude et leurs nombreux conseils dans la rédaction de travail.

Bibliographie

- BOUYER (S.), 1959 - Etude de l'évolution du sol dans un secteur de modernisation agricole au Sénégal.
CCTA, III^e Conf. Interf. des sols, Dakar, Vol. II, pp. 841-850.
- DOMMERGUES (Y.), 1956 - Etude de la biologie des sols des forêts tropicales sèches et de leur évolution après défrichage.
6^e Congr. de Sciences du Sol, Paris, Vol. 5, n^o 98, pp. 605-610.
- FAUCK (R.), MOUREAUX (C.), THOMANN (C.), 1969 - Bilan de l'évolution des sols à Sêfa (Casamance - Sénégal) après quinze années de culture continue.
L'Agron. Trop. Vol. XXIV, n^o 3, pp. 263-301.
- FELLER (C.), MILLEVILLE (P.), 1977 - Evolution des sols de défriche récente dans la région des Terres Nouves (Sénégal-Oriental).
Cah. ORSTOM, Sér. Biol. Vol. XII, n^o 3, pp. 195-207.
- GANRY (F.), 1979 - Efficacité de l'engrais azoté dans un système «mil sol sableux au Sénégal. Rôle de la matière organique.
L'Agron. Trop., à paraître.
- GANRY (F.), BIDEAU (J.), NICOLI (J.), 1974 - Action de la fertilisation azotée et de l'amendement organique sur le rendement et la valeur nutritionnelle d'un mil Souna III.
L'Agron. Trop., Vol. XXIX, n^o 10, pp. 1006-1015.
- PICHOT (J.), 1975 - Le rôle de la matière organique dans la fertilité du sol.
L'Agron. Trop., Vol. XXX, n^o 2, pp. 170-1975.
- SCHWARTZ (D.), 1963 - Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes.
Ed. Flammarion, 318 p., Paris.
- SIBAND (P.), 1974 - Evolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance.
L'Agron. Trop., Vol. XXIX, n^o 12, pp. 1228-1248.
- SIBAND (P.), GANRY (F.), 1976 - Application de l'analyse d'extraits de tissus conducteurs à l'étude de l'essai d'un compost sur une culture de mil.
C.R. 4^e Colloque Inter. sur le contrôle de l'alimentation des plates cultivées, GAND.

II — Décomposition des résidus végétaux (compost) pendant une saison des pluies dans un sol sableux

RESUME : Les auteurs étudient la décomposition, pendant une saison des pluies, des résidus végétaux d'un sol sableux cultivé ayant reçu ou non un amendement organique (compost de paille de mil) et diverses doses d'urée.

Par tamisages, les résidus végétaux de taille supérieure à 2 mm (fraction **ML1**) et inférieure à 2 mm (fraction **ML2**) sont séparés d'une fraction humifiée, organominérale (fraction **FL**).

Les résultats portent essentiellement sur les variations au cours du temps des principales caractéristiques des fractions **ML1** et **ML2** : carbone, azote, matière cellulosique, lignine.

Mots-clés : Fertilisation azotes, système de culture tropical, agrosystème, compost, décomposition, carbone, azote, matières cellulosiques.

Dans la première partie de ce travail nous avons mis en évidence le relèvement du niveau organique d'un sol sableux très pauvre (sol «dior») après quatre enfouissements annuels successifs d'un compost de paille de mil et culture continue de mil. Nous avons, en outre, dégagé le rôle bénéfique joué par l'engrais azoté sur cette évolution.

Dans cette deuxième partie, nous nous intéressons aux processus de décomposition du compost pendant une seule saison des pluies. Par prélèvements mensuels, nous suivons la variation des teneurs en différentes fractions organiques du sol, et caractérisons celles-ci par dosage du carbone, de l'azote, et des principaux constituants biochimiques des pailles que sont les matières cellulosiques et la lignine.

PRELEVEMENTS, FRACTIONNEMENT DU SOL ET ANALYSES

PRELEVEMENTS

Nous avons présenté l'essai, les méthodes de prélèvements et de fractionnement de la matière organique dans la première partie de ce travail.

Nous avons montré, qu'un prélèvement de 240 kg de sol était nécessaire pour obtenir une précision relative de 16 %; à $P = 0.05$, sur le poids de résidus végétaux recueillis.

Pour des raisons matérielles, seul, le dernier prélèvement réalisé en début de saison sèche a porté sur 240 kg de sol, les autres prélèvements donnant lieu à des échantillons deux fois plus petits. Ceci peut expliquer sans doute, une certaine dispersion des points sur les graphiques.

Six prélèvements ont été effectués pour chaque traitement, d'avril à décembre 1976, et les caractéristiques agro-climatiques de l'essai, pendant cette période, sont présentées dans le tableau 1.

METHODES D'ANALYSES

Les matières sèches (MS) sont déterminées par séchage à 105° pendant 24 heures.

Les matières minérales (MM) sont obtenues par calcination à 750° pendant 4 heures.

Le carbone (C) est dosé par voie sèche au Carmograph.

L'azote (N) est dosé automatiquement par colorimétrie (Berthelot) après minéralisation selon la méthode Kjeldahl.

Les matières cellulosiques (MC) sont dosées selon OMA (1975) par pesée du résidu organique obtenu après deux hydrolyses successives, l'une en milieu acide (H₂SO₄ à 1.25 %, ébullition 30 minutes), l'autre en milieu alcalin (NaOH 2.5 %, ébullition 30 minutes). Ces matières cellulosiques ne correspondent pas à un polymère biochimique bien défini mais englobent, en première approximation, les hémicelluloses, celluloses, et une faible fraction de la lignine.

La lignine - H₂SO₄ (L) est dosée selon VAN SOEST (1963) par pesée du résidu organique obtenu après l'action en milieu sulfurique d'un agent détergent (CTAB bromure de cetyl-triméthyl-ammonium), suivi d'une attaque, à froid, par l'acide sulfurique à 72 % pendant 3 heures.

Etant donné la forte contamination de l'échantillon végétal par les matières minérales du sol, les calculs pour (MC) et (L) sont exprimés en g/100 g de matière sèche, déduction faite des teneurs en matières minérales.

Les dosages de matières cellulosiques (MC) et de la lignine (L) sont ceux utilisés pour les analyses de fourrage. Ces méthodes sont purement conventionnelles et ont plus valeur de test pour comparaison de différents substrats qu'une signification absolue. Qui plus

Tableau I
PLUVIOMETRIE ET DONNEES CULTURALES AUX DATES DE PRELEVEMENT

N° prélèvement		1	2	3	4	5	6
Date de prélèvement		Avril	Début août	Fin août	Fin septembre	Début novembre	Début décembre
Caractéristiques climatiques	Saison	Fin de saison sèche	Saison des pluies			Début saison sèche	
	Pluviométrie cumulée en mm	0	78,6	151,2	337,1	376,3	376,3
	Temps écoulé depuis la première pluie (jours)	0	21	42	76	111	141
Données culturales		Sol nu après labour fin de cycle	Culture de mil			Sol nu avant labour fin de cycle	Sol nu (*) après labour fin de cycle
(*) Le labour de fin de cycle incorpore au sol les résidus de récolte qui n'ont pas été exportés. Le prélèvement 6 est donc enrichi en matière organique par rapport au prélèvement 5.							

est, dans le cas de composés déjà préhumifiés (compost, résidus végétaux ayant séjourné dans le sol), il serait préférable de parler de complexes humo-cellulosiques ou humo-ligneux plutôt que de matières celluloses et de lignine. Nous conserverons toutefois ces termes simples tout en étant conscients de leur imprécision.

RESULTATS

DECOMPOSITION AU COURS D'UNE SAISON DES PLUIES DES FRACTIONS ORGANIQUES ML1 ET ML2

Les résultats, exprimés en mgC/g sol, peuvent être consultés dans le tableau II, et les variations sont présentées sur les figures 1 et 2.

Etude de la fraction ML1 (fig. 1)

On distingue sur la figure 1 deux séries de points (*), la première correspondant aux apports de compost (traitements 1A, 2A, 4A, 7A), et la seconde aux parcelles sans compost (traitements 2S, 7S).

Pour une même série, on note peu de différences entre les divers traitements.

Il faut remarquer l'intensité des phénomènes de décomposition puisqu'environ 50 % du carbone initial a disparu pour tous les traitements, 40 jours après la première pluie, et 80 % à la fin de la saison humide. A cette époque, les teneurs en carbone sont très faibles et approximativement égales pour les traitements avec, et sans amendement organique.

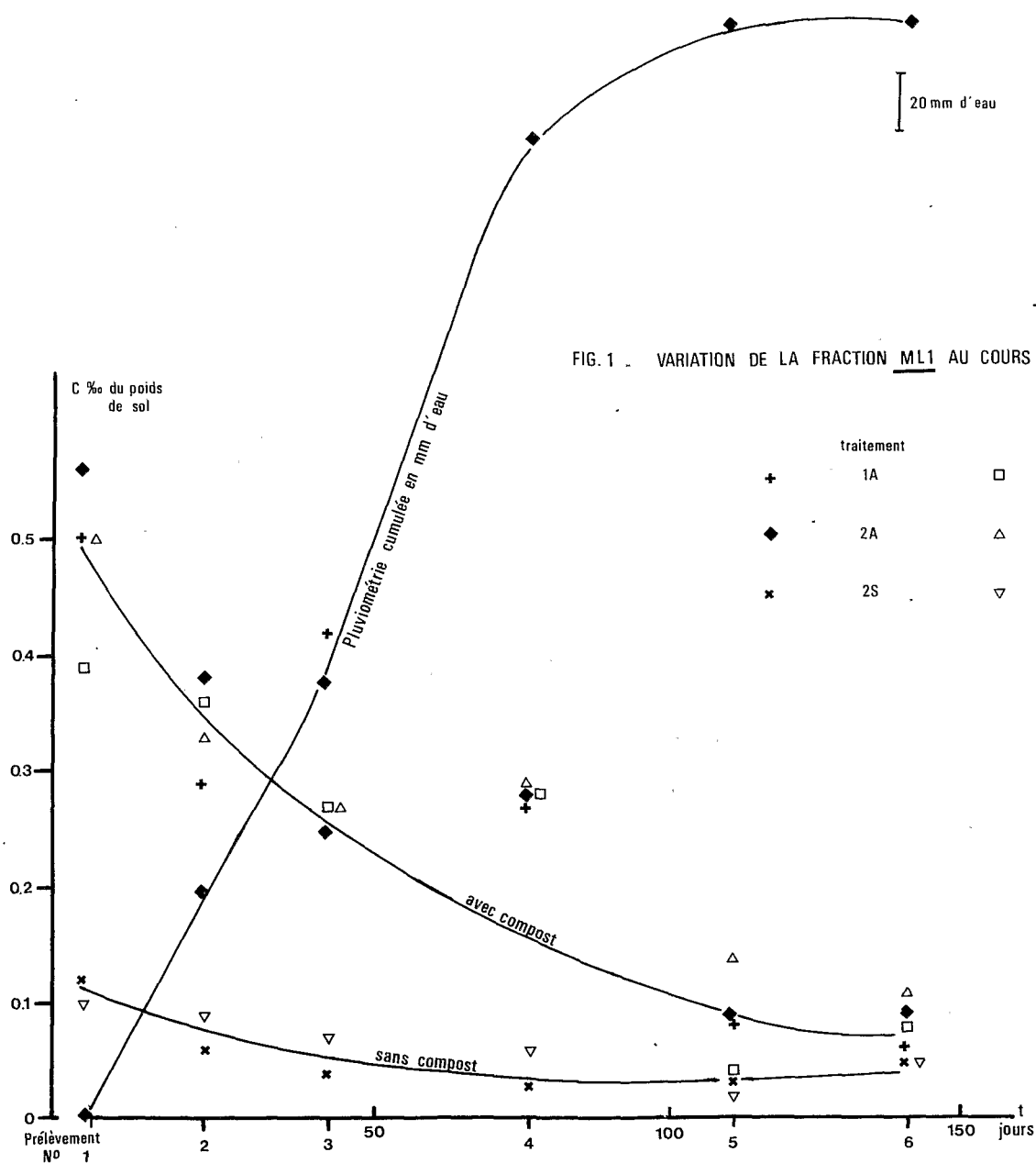
En conclusion, quel que soit le traitement (avec ou sans apport organique, en présence ou non d'engrais azoté), on observe une disparition quasi-totale de la fraction **ML1** à l'issue d'une seule saison des pluies.

Etude de la fraction ML2 (fig. 2)

Plus imprécis que les résultats de la fraction **ML1**, ceux obtenus pour la fraction **ML2** conduisent au tracé de trois courbes correspondant respectivement aux traitements :

- sans apport de compost (2S et 7S) : teneurs faibles en carbone ;
- avec apport de compost mais sans fumure azotée (1A et 2A) : teneurs moyennes en carbone ;
- avec apport de compost et fumure azotée moyenne à forte (4A et 7A) : teneurs fortes en carbone.

(*) Chaque série n'est représentée que par une seule courbe sur la figure 1.



Les traitements sans compost (2S et 7S) sont caractérisés par de faibles teneurs en fraction **ML2**. Celles-ci restent à peu près constantes pendant toute la saison des pluies.

Pour les traitements avec compost, il semble que l'on puisse distinguer deux phases :

- le début de la saison des pluies (0 - 40 jours), marqué par la décomposition d'une partie de la fraction **ML2** ;
- le milieu et la fin de la saison des pluies (40 - 60 jours) où les teneurs en carbone semblent à peu près constantes ou en légère augmentation.

La trop grande variabilité des mesures obtenues pour cette fraction ne permet pas une interprétation précise des résultats. Les seules sources de carbone disponibles à cette période pour compenser les pertes par minéralisation sont alors la fraction **ML1** résiduelle et le système racinaire du mil. Il nous est actuellement impossible, dans l'état d'avancement de cette étude, de pouvoir estimer le rôle respectif de ces deux sources de matière organique.

En conclusion, la variation saisonnière de la fraction **ML2** apparaît différente de celle de la fraction **ML1**. En outre, elle confirme tout à fait les bilans globaux présentés dans la première partie de ce travail en fai-

Tableau II

EVOLUTION DES TENEURS EN CARBONE (exprimées en mgC/g sol)
DES FRACTIONS **ML1** ET **ML2** DES DIFFERENTS TRAITEMENTS
AU COURS D'UNE SAISON DES PLUIES

Traitement n°	Prélèvement n°	ML1	ML2
1A	1	0.50	0.79
	2	0.29	0.30
	3	0.42	0.51
	4	0.27	0.42
	5	0.08	0.60
	6	0.06	0.52
2A	1	0.56	0.67
	2	0.38	0.66
	3	0.25	0.84
	4	0.28	0.30
	5	0.09	0.45
	6	0.09	0.53
2S	1	0.12	0.15
	2	0.06	0.19
	3	0.04	0.25
	4	0.03	0.14
	5	0.03	0.20
	6	0.05	0.33
4A	1	0.39	1.14
	2	0.36	0.73
	3	0.27	0.67
	4	0.28	0.74
	5	0.04	0.25
	6	0.08	0.90
7A	1	0.50	1.08
	2	0.33	0.44
	3	0.27	0.71
	4	0.29	1.03
	5	0.14	0.79
	6	0.11	1.41
7S	1	0.11	0.24
	2	0.09	0.25
	3	0.07	0.29
	4	0.06	0.22
	5	0.02	0.21
	6	0.05	0.37

sant apparaître l'influence de la fumure azotée sur le bilan organique des traitements avec apport de compost.

VARIATIONS DU RAPPORT C/N DES FRACTIONS ML1, ML2 ET FL

Dans le tableau III sont présentés les rapports C/N des fractions **ML1**, **ML2** et **FL** des prélèvements n° 1 et 5. On rapporte aussi les caractéristiques de la paille de mil ayant servi à la fabrication du compost utilisé dans cet essai, et celles du compost lui-même.

On note que :

- 1) Le compostage abaisse fortement le rapport C/N : on passe de 44,1 pour la paille à 21,0 pour son compost ;
- 2) Pour un même échantillon, le rapport C/N décroît dans le sens **ML1**, **ML2**, **FL**. On remarquera les valeurs faibles de la fraction **ML2** qui apparaît déjà comme une fraction préhumifiée ;
- 3) La comparaison, pour une même fraction, des prélèvements 1 et 5 montre que :
 - la décomposition de la fraction **ML1** s'accompagne d'une diminution du rapport C/N d'autant plus marquée que celui-ci était plus élevé,

FIG.2 - VARIATION DE LA FRACTION ML2 AU COURS D'UNE SAISON DES PLUIES

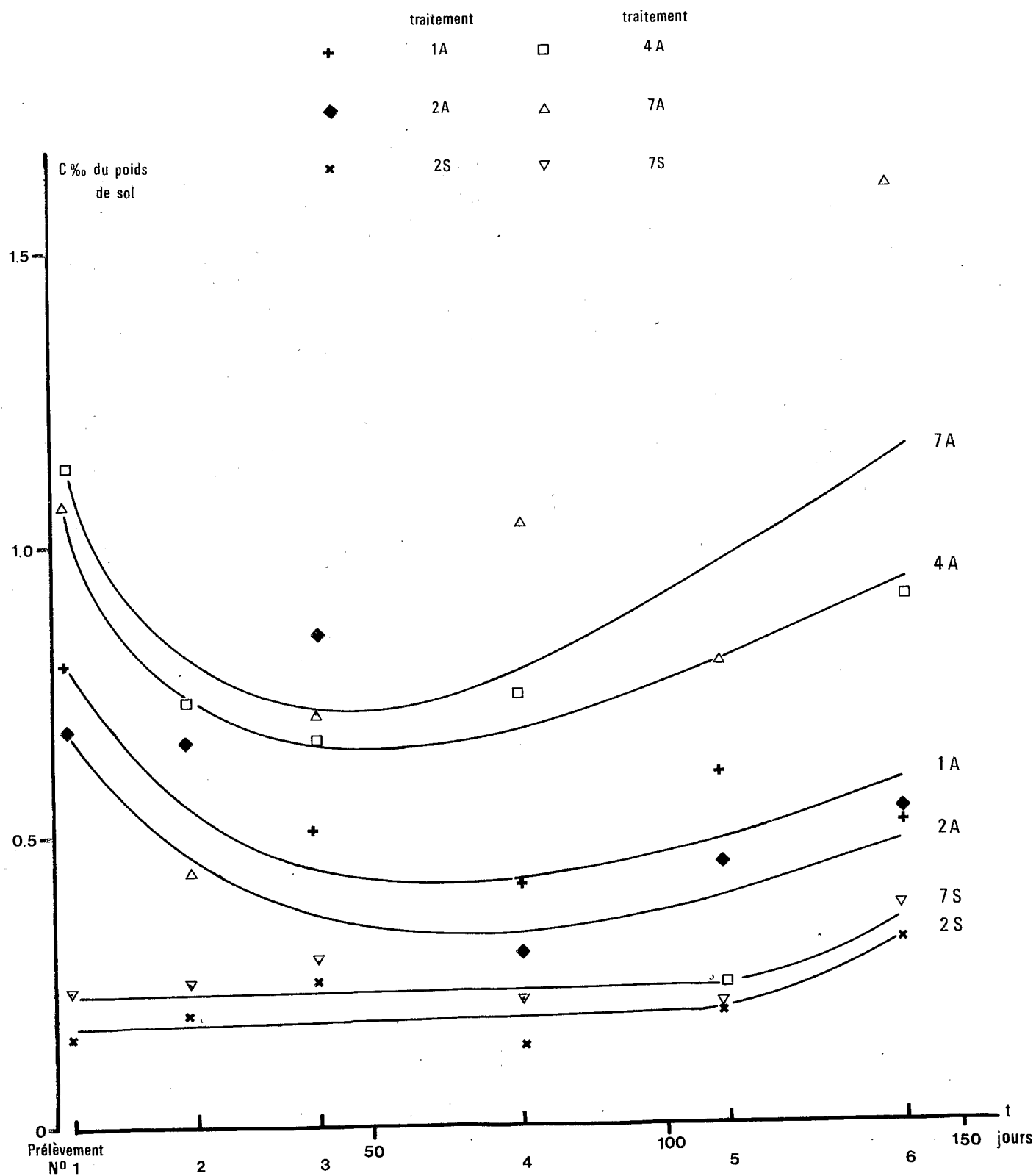


Tableau III

RAPPORT C/N DES DIFFERENTES FRACTIONS ORGANIQUES
EN DEBUT ET EN FIN DE SAISON DES PLUIES

Traitement n°	Prélèvement n° 1			Prélèvement n° 5		
	ML1	ML2	FL	ML1	ML2	FL
1A	23,7	12,7	5,7	19,9	14,0	8,4
2A	24,0	14,2	4,9	17,6	12,2	8,4
2S	43,8	17,5	6,1	35,0	21,0	9,8
4A	21,2	14,4	5,3	21,4	13,8	7,9
7A	26,5	12,3	6,1	18,4	12,4	8,5
7S	34,2	14,5	8,4	28,1	16,3	7,6
Paille de mil			44,1			
Compost de paille de mil			21,0			

- peu de variations apparaissent pour la fraction **ML2**,
- le rapport C/N de la «fraction liée» **FL** est légèrement plus faible au début de saison des pluies qu'à la fin de celle-ci. Il pourrait donc y avoir pendant la saison sèche une évolution des composés humiques conduisant à une diminution du rapport C/N ;

VARIATION DE LA COMPOSITION EN MATIERES CELLULOSIQUES ET LIGNINE DE LA FRACTION ML1

Après avoir montré ci-dessus que des deux fractions végétales étudiées (**ML1** et **ML2**), seule la fraction **ML1** enregistre une diminution significative du rapport C/N au cours de sa décomposition, nous nous intéressons maintenant, pour cette même fraction, aux variations relatives pendant une saison culturale, des deux princi-

4) On note peu d'effet de la dose de fumure azotée ajoutée sur les variations du rapport C/N (comparer les traitements 1A, 2A, 4A et 7A).

Tableau IV

COMPOSITION EN MATIERES CELLULOSIQUES ET EN LIGNINE
DES FRACTIONS **ML1** EN DEBUT ET EN FIN DE SAISON DES PLUIES

Traitement	Prélèvement n°	MC (*) Matières Cellulosiques	L (*) Lignine - H2SO4	Rapport MC/L
Paille de mil		45,9	11,3	4,1
Compost de paille de mil		36,3	31,0	1,2
1A	1	41,7	24,6	1,7
	5	45,4	34,7	1,3
2A	1	42,6	25,4	1,7
	5	36,3	40,9	0,9
2S	1	43,6	12,0	3,6
	5	43,0	18,2	2,4
4A	1	46,0	23,7	1,9
	5	39,1	30,0	1,3
7A		non dosé		

(*) Les résultats sont exprimés en % de la matière sèche déduction faite des teneurs en matières minérales obtenues par calcination.

paux groupes carbonés des végétaux : matières celluloses et lignine.

Les analyses portent sur :

- la paille de mil ayant servi à la fabrication du compost,
- le compost avant enfouissement dans le sol,
- les fractions **ML1** des prélèvements 1 et 5.

Les résultats apparaissent dans le tableau IV.

Deux transformations méritent d'être étudiées :

- a) celle de la paille en compost,
- b) celle de la fraction **ML1** après une saison des pluies.

Transformation de la paille en compost

Les résultats d'analyse portent ici sur la **totalité** des résidus végétaux et non sur une fraction granulométrique particulière. Précisons toutefois, que 90 % de la matière organique du compost analysé se trouve sous forme de résidus végétaux de taille supérieure à 2 mm (fraction **ML1**).

On remarquera l'intensité des transformations subies par la paille de mil au cours du compostage, le rapport matière cellulosique/lignine (MC/L) passant de 4,1 pour la paille, à 1,2 pour le compost. Il y a une décomposition préférentielle des matières celluloses et/ou apparition de composés préhumiques plus proches (vis-à-vis des méthodes utilisées) de la fraction ligneuse que de la fraction cellulosique.

Variation de la composition de la fraction **ML1** au cours d'une saison des pluies

Nous distinguerons les traitements avec enfouissement de compost (1A, 2A, 4A) de celui sans enfouissement (2S).

- a) Traitements avec enfouissement de compost (1A, 2A, 4A)

Avant la saison des pluies (prélèvement n° 1), le rapport MC/L se situe aux environs de 1,8, donc un peu supérieur à celui du compost.

Deux causes peuvent être invoquées pour expliquer cette différence :

- l'analyse ne porte que sur la fraction végétale la plus grossière, la moins humifiée (voir rapports C/N, Tableau III), et donc moins riche en lignine ;
- au moment de l'enfouissement du compost, une partie des résidus végétaux de la récolte précédente (tiges de mil) est aussi incorporée au sol. Cette dernière fraction, correspondant à environ 15 % de l'apport de compost, est caractérisée (voir Tableau IV) par un rapport MC/L élevé.

Après la saison des pluies, le rapport MC/L des frac-

tions **ML1** se situe aux environs de 1,1 pour l'ensemble des trois essais. On assiste donc à une évolution identique à celle observée lors du compostage de la paille, et marquée par une décomposition préférentielle des matières celluloses d'où un enrichissement relatif en lignine.

- b) Traitement sans enfouissement de compost (2S)

Le rapport MC/L du prélèvement n° 1 (*avant la saison des pluies*) est égal à 3,6 proche de celui de la paille de mil et correspond bien à l'enfouissement des tiges de mil résiduelles de la récolte passée.

Après une saison des pluies, ce rapport diminue fortement et passe à 2,4.

Une variation identique aux enfouissements du compost est donc constatée, qui est celle d'une décomposition préférentielle des fractions celluloses et d'un enrichissement relatif en lignine.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

De cet ensemble de résultats se dégagent les enseignements suivants :

- 1) sur le plan méthodologique, la technique très simple de fractionnement utilisée (2 fractions végétales, une fraction organo-minérale), paraît être bien adaptée au problème étudié. Les fractions organiques obtenues ont des caractéristiques et des comportements extrêmement différents et, sous réserve d'effectuer un échantillonnage important, sont des matériaux favorables à de nombreuses approches analytiques.
- 2) dans le schéma des processus de décomposition et d'humification des résidus végétaux, la fraction **ML2** semble réellement intermédiaire entre la fraction **ML1**, qui se décompose quasi-totalement, et la fraction humifiée **FL**.

Les résultats des rapports C/N et MC/L regroupés dans le tableau V montrent qu'en fin de saison des pluies, la fraction **ML2** qui constitue l'essentiel des matières légères est déjà proche, par son rapport C/N, de la fraction la plus humifiée (**FL**) et est caractérisée par un rapport MC/L inférieur à celui obtenu pour la fraction **ML1**.

- 3) bien que l'ensemble de la fraction **ML1** soit sujet à une forte décomposition, les mécanismes, d'abord de compostage, puis de biodégradation, « in situ » dans le sol, sont toutefois préférentiellement orientés vers la cellulolyse puisque la fraction organique résiduelle apparaît nettement enrichie en lignine à la fin de la saison des pluies. La même observation est valable pour la fraction **ML2**. Ceci pourrait expliquer la stabilité de cette dernière.

Tableau V

COMPARAISON DES RAPPORTS C/N ET MC/L DES FRACTIONS **ML1** ET **ML2**
DES DIFFERENTS TRAITEMENTS APRES UNE SAISON DES PLUIES
(prélèvements n° 5)

Traitement n°	Fraction organique	Rapport C/N	Rapport MC/L
1A	ML1	19,9	1,3
	ML2	14,0	0,7
2A	ML1	17,6	0,9
	ML2	12,2	0,6
2S	ML1	35,0	2,4
	ML2	21,0	1,0
4A	ML1	21,4	1,3
	ML2	13,8	0,7
7A	ML1	21,2	non dosé
	ML2	12,4	0,5

Remerciements

Les auteurs remercient vivement la Direction du Laboratoire National de l'Élevage et de Recherches Vétérinaires (ISRA, Sénégal) pour les analyses de matières cellulosiques et de lignine, ainsi que MM. H. CALVET, S. DIALLO, D. FRIOT et P.L. PUGLIESE, pour leur aide et leurs nombreux conseils.

Bibliographie

- OMA (Official Method of Analysis), 1975 - Crude fiber (17), Official final action. in «Official Method of Analysis», p. 136 (7.050-7.054), 12 Ed. - Association of Agricultural Chemists Ed., Washington Do.
VAN SOEST (P.J.), 1963 - Use of detergents in the analysis of fibrous feeds II. A rapid method for the determination of fiber and lignin - J.A.O.C. 46 (5), p. 829.