

1984/11

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ISRA - CNRA
Bibliothèque
BAMBAY

FONDATION INTERNATIONALE POUR LA
SCIENCE

SECRETARIAT D'ETAT A LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

BOURSE DE RECHERCHE N° G 133

CN0100751
P356
GUE

RECYCLAGE DES RESIDUS DE RECOLTE PAR LA VOIE FERMENTATIVE
EXEMPLE DE DEUX PAILLES : MIL ET MAIS

Réalisation : Fatou GUEYE
Direction de l'étude : F. GANRY
Programme I.F.S du 1/6/1980 au 1/6/1981

30 Oct 1981

Centro National de Recherches Agronomiques
de Bambey

INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES
(I.S.R.A.)

A V A N T - P R O P O S

==0000==

Le présent rapport relate Les résultats des recherches effectuées dans le cadre de la bourse de recherche n° G 133, mais aussi ceux obtenus au sein du programme "Gestion des résidus de récolte"* dans lequel s'insère le programme I.F.S.

Notre volonté est de présenter un rapport suffisamment complet pour pouvoir en tirer des enseignements intéressants au plan du développement agricole, enseignements auxquels notre travail aura partiellement contribué.

A noter que certains résultats d'analyse, non encore disponibles au moment de la rédaction du présent rapport (azote 15 et acides humiques), seront utilisés dans la prochaine étude I.F.S sur le compostage.

* Programme ISRA-GERDAT 612.03/CG 0'.

S O M M A I R E

	Pages
1 - INTRODUCTION	1
2 - COMPOSTAGE DE LA PAILLE DE MIL ET ETUDE AGRONOMIQUE.....	1
21 - Etude biochimique de la decomposition des pailles de mil.....	2
211 - Méthodes.....	2
212 - Résultats et discussions.....	
2121 - Azote,	
2122 - Matière organique et composés organiques	
213 - Conclusion.....	4
22 - Etude agronomique : effet d'apport de compost sur le rendement de soja.....	4
221 - Méthodes	4
222 - Résultats et discussion.....	4
3 - COMPOSTAGE DE LA PAILLE DE MAIS.....	5
31 - Méthode : fabrication et mise en place du compost et des micro-compartiments de compost.....	5
32 - Résultats.....	6
321 - Azote total et azote minéral.....	6
322 - Matière organique.....	6
323 - Autres paramètres.....	6
33 - Discussion.....	7
4 - CONCLUSION.....	7

TABLEAUX

BIBLIOGRAPHIE

RECYCLAGE DES RESIDUS DE RECOLTE PAR VOIE FERMENTATIVE

EXEMPLE DE DEUX PAILLES COMPOSTEES :

MIL & MAIS

1 - INTRODUCTION

La restitution de la matière organique est une nécessité pour le maintien de la fertilité du sol. Elle permet d'assurer les rendements et surtout apporte une meilleure assurance contre la sécheresse*. Le compostage des résidus de récolte semble être le moyen de recyclage le plus sûr de la matière organique.

L'importance du compostage dans les systèmes culturaux est bien établie. Actuellement trois méthodes sont utilisées :

- le compostage en aérobiose, exemple : la méthode de compostage CIDR^{**} en atelier-pilote ;
- le compostage en semi-anaérobiose, exemple : le compostage traditionnel en fosse ou en tas ;
- le compostage en anaérobiose, exemple : compostage méthanogène en fermenteur.

2 - COMPOSTAGE DE LA PAILLE DE MIL ET ETUDE AGRONOMIQUE

Los bilans réalisés après compostage des pailles de mil mettent généralement en évidence des pertes qui sont de l'ordre de 45 à 70 % pour la matière sèche et de 35 à 50 % pour l'azote (1, 4 et 5).

Nous avons donc recherché les moyens de diminuer les pertes d'azote :

- par certaines techniques chimiques comme l'addition de phosphate qui font l'objet de la présente étude ;
- en explorant la voie de la fixation libre de l'azote de l'air (N₂) en vue de réduire les pertes et éventuellement d'apporter un gain d'azote dans la compostière.

* A Thilmakha, Station d'expérimentation du Centre Nord du Sénégal, en 1980, année peu pluvieuse : 250 mm d'eau dans cette localité, les différences de rendement entre parcelles fumées (apport de fumier tous les 2 ans) et non fumées (engrais minéral seulement) ont été spectaculaires : environ 1 t de graine/ha sur les parcelles fumées contre environ 300 kg sur les autres (WEY et GANRY, communication personnelle).

** CIDR : Centre International de Développement de Recherche
55, Bd Pereire 75017 PARIS.

21 - Etude biochimique de la décomposition de la paille de mil

211 - Méthode

Différents dosages sont réalisés au niveau du compost :

- l'azote est déterminé selon Kjeildahl ;
- les matières cellulosiques sont dosées selon O.M.A. (1975) et la lignine- H_2SO_4 selon VAN SOEST (1963) et VAN SOEST et WHINE (1960) (7, C, et Y).

212 - Résultats et discussion

2121 - Azote

Une expérience préliminaire (1 et 3) réalisée à Bambeï laissait entrevoir la possibilité d'obtenir des bilans d'azote positifs, grâce à la fixation libre de N_2 . En effet, une inoculation de Beijerinckia, réalisée après la phase de fermentation exothermique, avait engendré un gain d'azote de 2 kg par tonne de paille mise à composter (par fixation de N_2).

Dans une deuxième expérience (4) la paille a été inoculée avec deux souches bactériennes fixatrices de N_2 : Beijerinckia, Enterobacter et l'association de ces deux souches, donc trois traitements "inoculation", qui, avec le témoin non inoculé, recevaient ou ne recevaient pas du phosphate super-triple.

Deux phases ont été mises en évidence, comme dans la première expérience (fig. 3) :

- une première phase (50-60 jours) pendant laquelle le système perd de l'azote : la teneur augmente de 0,7 % à t_0 à 1,0 % à t_{48} , mais il s'agit d'une augmentation relative car la quantité de N diminue. Cette diminution est de l'ordre de 25 %. Ces pertes sont évitées en présence de super-triple (phosphate) ;

- une deuxième phase pendant laquelle on observe une remontée du stock d'azote, décelable au 80^e et 150^e jour ; celle-ci n'est pas modifiée par l'apport du phosphate.

Dans une troisième expérience (5) la paille a été inoculée avec un décomposeur : actinomycète, et un fixateur diazotrophe : Spirillum, séparément et ensemble.

* t = temps (l'indice indique le nombre de jours après le début de l'expérience).

Deux phases ont été mises en évidence comme dans les première et deuxième expériences. Dans la première phase, la baisse de N total est de 50 % ; dans la seconde, la remontée permet au 150^e jour de retrouver le stock d'initial. L'inoculation n'a eu aucun effet sur l'enrichissement en N total. Ce compost a été suivi et analysé jusqu'au stade "humus stable".

Les résultats des bilans azotés que nous venons de rappeler ci-dessus confirment les premiers résultats obtenus en 1973 (1) : après une baisse importante du stock d'azote dans le compost de 25 à 50 % pouvant se poursuivre jusqu'à 2 mois, on observe une augmentation progressive du taux d'azote rééquilibrant ainsi le bilan azoté en fin de fermentation. Ceci montre la prédominance et la compétitivité de la microflore autochtone fixatrice d'azote du compost^{**}. La capacité de fixation de cette flore microbienne serait donc importante : elle pourrait faire varier le stock d'azote total de 50 %.

2122 - Matière organique et composés organiques (tableau 1)

La paille de mil est composée d'environ 75 % de cellulose et de 15 % de lignine-H₂SO₄.

Les pertes en matière sèche, de l'ordre de 70 %, sont en grande partie causées par la biodégradation de la cellulose.

- Cellulose

En cinq mois, la perte de cellulose est d'environ 70 à 80 %, sans qu'on puisse remarquer un effet significatif de l'inoculation par différentes souches de décomposeurs. Les quantités de cellulose restant sont à peu près les mêmes dans le compost 1978 et dans le compost 1979.

- Lignine

Dans les composts 1978 et 1979, la teneur en lignine ne diminue pas ; l'augmentation observée dans le compost 1978 pourrait signifier que des substances humiques fortement polymérisées, et dosées comme la lignine, sont apparues en cours de fermentation, en liaison avec une forte biodégradation de la cellulose et du contenu cellulaire.

- Contenu cellulaire

Cette fraction organique varie assez peu. Il est difficile de se faire une idée sur ce que cette fraction représente ; en effet, il est probable qu'elle comprenne la microflore qui s'est développée lors du compostage, ce qui expliquerait sa faible variation.

^{**} L'application de la méthode (C-H₂)₂ à des échantillons de compost a mis en évidence une activité nitrifiante non négligeable dans le compost (1)

213 - En conclusion

Il importe de retenir deux résultats : l'un concerne la durée du compostage et l'autre l'enrichissement du compost en azote. Pour des temps de compostage inférieurs à 2 mois, on a montré l'intérêt d'apporter du phosphate monocalcique qui évite les pertes d'azote (4) ; pour des temps de compostage plus longs, supérieurs à 3 mois, on a mis en évidence une remontée du stock d'azote due vraisemblablement à une fixation de N₂ qui ne rendrait plus nécessaire ce phosphatage (mais celui-ci pourrait être utilisé pour constituer une fumure phospho-organique). L'inoculation par des décomposeurs associés ou non à des fixateurs d'azote n'a pas donné les résultats escomptés mais, désormais, nous savons que le compost est un milieu favorable à la fixation de N₂.

22 - Etude agronomique : Effet d'un apport de compost sur le rendement du soja

221 - Méthode

Il s'agit d'un essai en blocs de Fisher à six répétitions. Les parcelles ont une surface utile de 96 m². Le dispositif ne comporte pas d'allées. Les doses de compost (compost de paille de mil 1979) sont de 0 ; 1,5 ; 3 ; 4,5 et 6 tonnes de M.S./ha.

Le sol sablo-argileux est du type "ferrugineux tropical lessivé à taches et concrétions" appelé sol beige ; sa teneur en argile est d'environ 11 % et en azote total de 0,5 ‰. Le soja utilisé est la variété ISRA 44/A/73.

222 - Résultats et discussion - (Tableau 2)

On observe un effet direct positif significatif de l'enfouissement de compost, dès la première dose de 1,5 t M.S./ha, sur le rendement du soja. La réponse est croissante jusqu'à la dose de 6 t M.S./ha (il eût été intéressant de posséder un traitement supplémentaire avec dose de compost enfoui très élevée, quoique peu réaliste).

Il est intéressant de noter que malgré des conditions pluviométriques de l'année 1980 extrêmement défavorables au soja les rendements ont été relativement élevés.

L'amendement organique aurait donc permis de limiter les effets néfastes de la sécheresse, en diminuant notamment l'hétérogénéité du peuplement végétal, cette conclusion étant aussi valable pour l'arachide en zone sahélienne cette même année (WEY et GANRY, communication personnelle).

La matière organique enfouie a joué vraisemblablement un double rôle : augmentation de la fourniture en azote au soja et meilleure alimentation hydrique du soja (rétention de l'eau dans le sol et enracinement vraisemblablement favorisée par le compost).

Une question reste posée : le compost favorise-t-il la symbiose rhizobium soja ?

3 - COMPOSTAGE DE LA PAILLE DE MAÏS

31 - Méthode : fabrication du compost et mise en place des micro-compartiments de compost-

On utilise la méthode traditionnelle en fosse cimentée : des couches de paille de maïs humidifiée sont intercalées avec de minces couches de compost qui sert d'inoculum (1).

Mise en route du compost-

Le système de grille pour délimiter les micro-parcelles à la surface de la compostière permettant la présence de 2 sacs par trou, est maintenu (1). Le poids de la paille dans chaque sac de toile est porté à 200 g.

La paille de maïs marquée à l'azote 15 est additionnée de deux types de phosphates :

- supertriple (soluble à l'eau) ;
- phosphate tricalcique (peu soluble à l'eau) à raison de 1 % de P_2O_5 par sac.

L'essai comporte trois traitements : les deux types de phosphates et le témoin. Six prélèvements sont effectués dans le temps à raison de six répétitions par prélèvement. Neuf prélèvements dans le temps sont réservés au témoin pour mieux apprécier la fin de la phase de biodégradation de la matière végétale.

32 - Résultats

321 - Azote total et azote minéral

Sur l'N-total, on observe (fig. 2) :

- des pertes d'azote plus importantes sous l'action du phosphate tricalcique comparativement au témoin (paille seule) et au phosphate supertriple ;
- une remontée du stock d'azote total en présence des deux phosphates plus rapide que pour le témoin paille seule ;

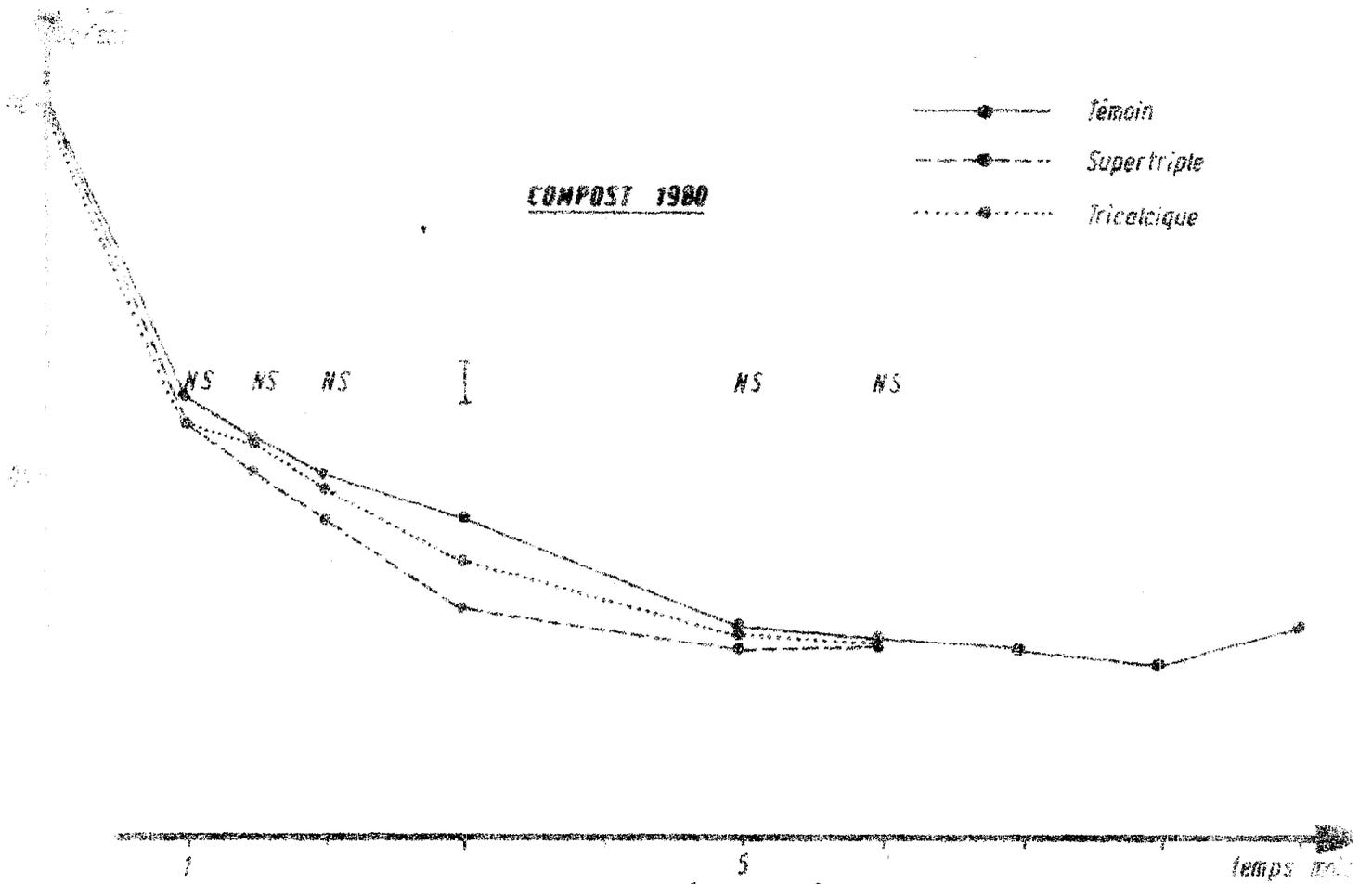


Fig 1 : Evolution de la matière sèche de la paille de maïs en cours de compostage

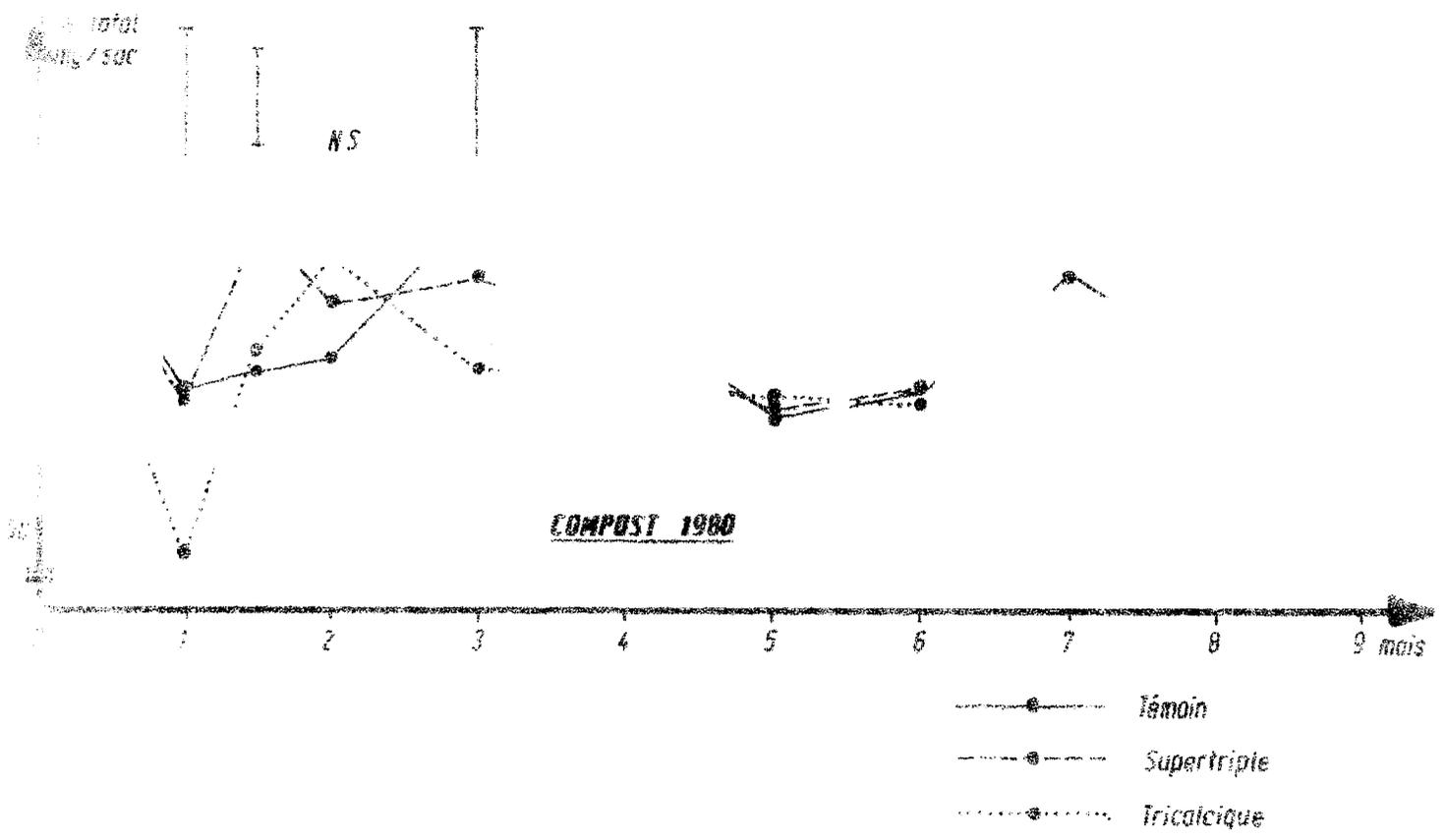


Fig. 2 : Evolution de l'azote de la paille de maïs en cours de compostage

Barrement vertical - la plus petite différence significative

- que le témoin (paille seule) subit des fluctuations dans l'évolution du stock d'azote total (pertes, gain, pertes et nouveau gain d'azote) ; en fin de compostage, au bout de neuf mois, le stock d'azote est le même qu'au départ, alors que la matière sèche a diminué de 70 % (fig. 2).

Sur l'N minéral, on observe que, présent dans le compost final, il s'y trouve essentiellement sous forme de nitrates. Ceux-ci n'apparaissent qu'à partir du cinquième mois et leur taux augmente progressivement au-delà du cinquième mois. Ce taux exprimé par rapport à l'N total varie de 0,3 % au cinquième mois à 1,2 % de $N-NO_3$ au neuvième mois, en fin de fermentation.

322 - Matière organique

La biodégradation de la paille se traduit au bout de cinq mois par une perte de 70 % de matière sèche et se stabilise au bout de neuf mois environ de compostage. Notons qu'après un mois de compostage, la paille avait déjà perdu environ 40 % de son poids sec (fi y. 1).

323 - Autres paramètres

Des mesures de pH et d'humidité ont été effectuées sur le compost,

pH

Le pH-eau de départ de la paille est 6,7. Dès le début du compostage, le pH atteint en moyenne la valeur 6,2 et décroît progressivement pour se stabiliser à 7 environ en fin de fermentation. Entre le 5e et le 7e mois, le pH du compost est encore supérieur à la neutralité (égal à environ 7,5).

Humidité (Tableau 3)

Mise en place au mois de juillet, la paille a reçu seulement deux arrosages jusqu'à percolation avant le début de la saison des pluies. La pluviométrie totale s'est élevée à 350 mm de juillet à septembre. Ensuite pendant la saison sèche, jusqu'au mois d'avril, le compost n'a pas reçu d'eau.

Le tableau 3 montre que l'humidité est restée pratiquement constante durant les neuf mois de fermentation.

33 - Discussion

La perte d'azote qui atteint 20 % en un mois est compensée par la fixation de l'azote de l'air due à la microflore autochtone. Cette fixation libre de N_2 avait été mise en évidence lors d'une précédente expérience de compostage de la paille de mil (1).

Un apport de phosphate accélère la fixation entre le premier et le deuxième mois mais ne l'augmente pas. Cet apport n'est donc intéressant que s'il constitue une fumure phosphatée ou complément du compost ,

L'allure de la courbe d'évolution de l'azote en cours du compostage est voisine de celle obtenue pour le mil (fig. 3) : pour le maïs, le stock maximum d'azote est atteint après trois mois de compostage (mais résultats d'une expérience seulement) ; pour le mil, il a fallu trois et cinq mois de durée de compostage pour retrouver le stock initial d'azote (résultats de deux expériences). Il semblerait que les pertes d'azote en début de compostage de la paille de maïs soient moins importantes que dans le cas du mil, mais ceci reste à confirmer.

L'apparition des nitrates au 5e mois pourrait être à l'origine de pertes d'azote par dénitrification.

La perte de matière sèche est élevée en cours de compostage. Ces pertes s'arrêtent vers le 5e mois ; à ce moment là, elles atteignent environ 70 % du stock initial de paille. Ces pertes sont similaires à celles obtenues dans le cas de la paille de mil.

Le compost obtenu en semi-anadrobiose a conservé son humidité pendant les sept derniers mois de compostage sans apport d'eau ; ce résultat est intéressant en zone sahélienne où l'approvisionnement en eau est souvent difficile.

Le pH élevé observé (pH 8) en début de fermentation, peut justifier une partie des pertes d'azote par volatilisation.

4 - CONCLUSION

Le compostage des résidus végétaux avec ou sans fumier semble être actuellement la technique susceptible d'intéresser les paysans pour au moins deux raisons. La première est que l'apport au sol du compost est toujours possible, même sans labour, par simple épandage ; cependant, il faut noter que l'enfouissement considéré par rapport à l'épandage, s'il n'augmente pas significativement les rendements présente au moins deux avantages (0) :

- une réduction notable des pertes d'azote ;
- une augmentation du système racinaire en profondeur qui pourrait en année sèche, être un facteur de résistance du mil à la sécheresse.

La deuxième raison est que cet apport induit toujours une augmentation de rendement : sur mil (1 et 6), comme sur soja ce que nous venons de voir.

L'agronome quant à lui, voit d'autres avantages dans le développement de cette technique.

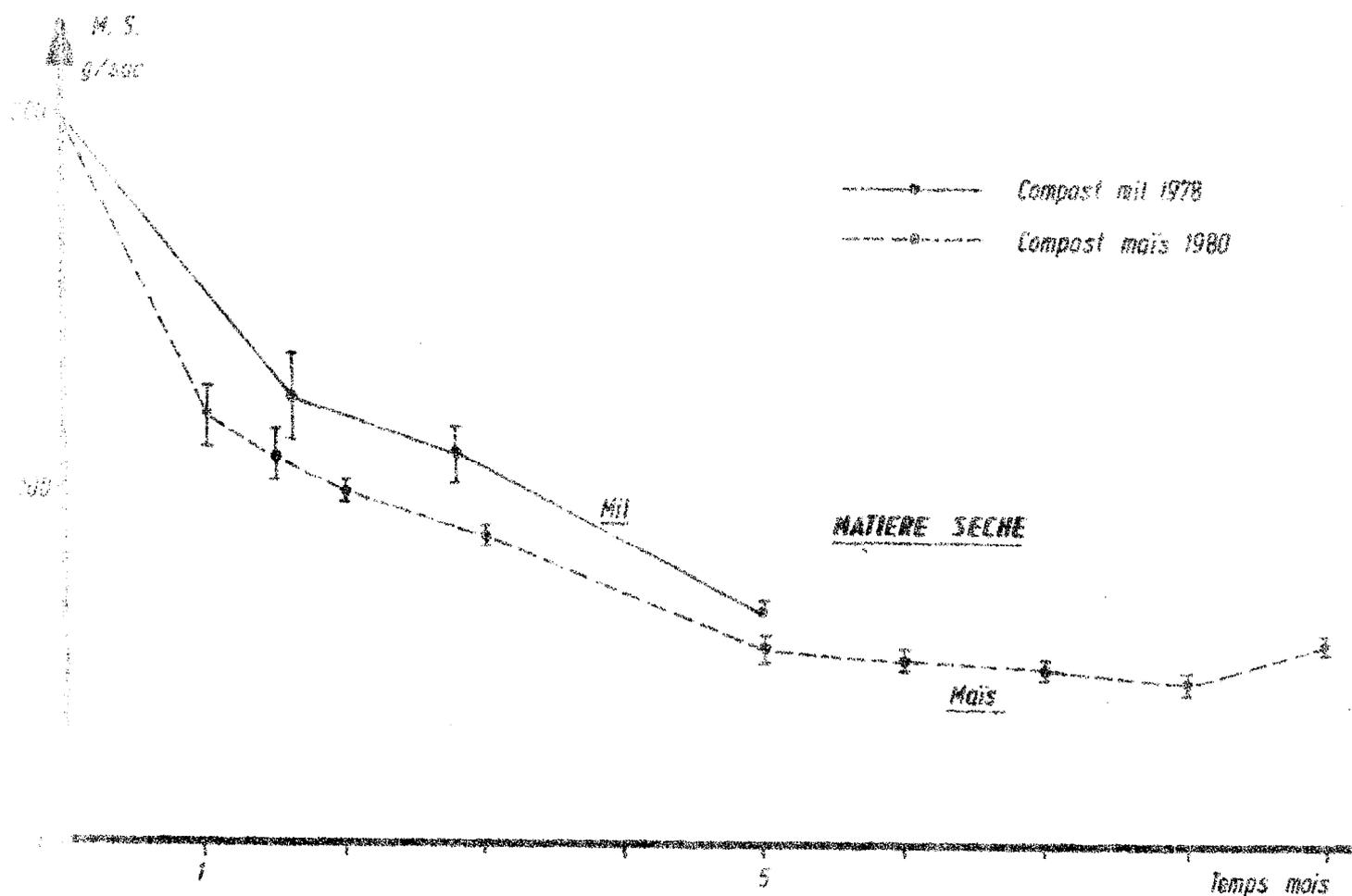
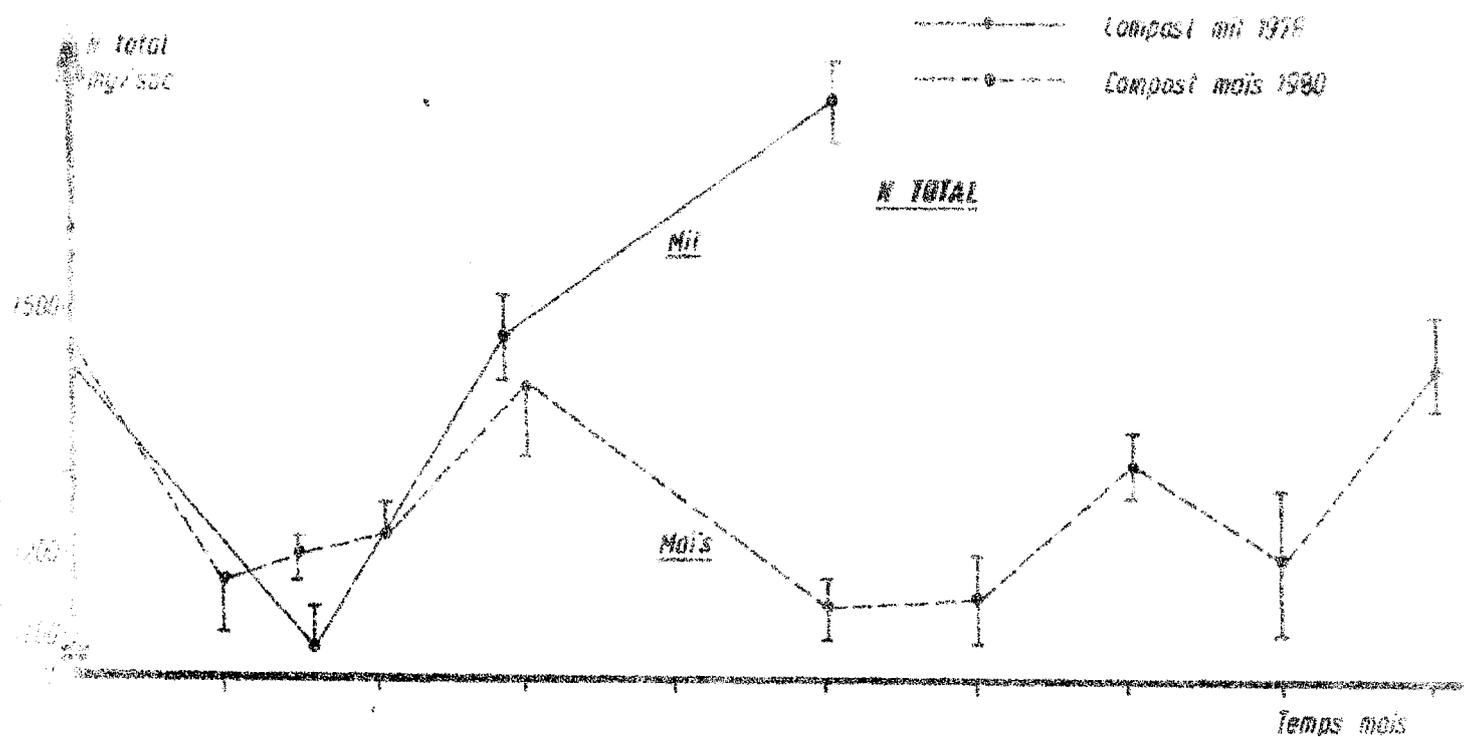


Fig. 3
Comparaison de l'évolution des deux types de paille
en cours de compostage.

Segment vertical = écart type de la moyenne

- la technique de compostage semble être une condition au maintien du statut organique des sols sableux : elle permet le recyclage organique du sol. \Leftarrow ferme et l'incorporation au sol de substances humiques,

- dans l'option compostage en fosse, le compost final présente un poids en matière organique sèche 3 à 4 fois moindre que le poids de paille initiale tout en donnant, au moins, la même quantité d'azote et des autres éléments minéraux. Par exemple 4 t MS de paille de mil à 0,75 % N, mis à composter, pourront donner, après 5 à 6 mois, 1,5 t MS de compost à 2,5 % N. Cet avantage est important pour le paysan qui possède généralement des moyens de transport limités.

Au plan de la vulgarisation agricole, dont le souci primordial est de faire passer les exploitations du stade extensif (rendement moyen du mil de l'ordre de 500 kg grain/ha) au stade semi-intensif (1000 kg/ha), on pourrait conseiller l'application d'une fumure phospho-organique, pouvant à elle seule suffire ; en effet, elle garantirait les apports d'azote et de phosphate qui sont nécessaires ; l'apport de potassium, quant à lui, n'étant pas obligatoire à ce niveau de semi-intensification (10). Cette fumure phospho-organique serait donc obtenue par compostage des résidus de récolte en présence de phosphate tricalcique (dont le Sénégal possède des gisements).

Tableau 1 : Evolution quantitative des composés organiques (g par sac comprenant au départ 200 g M.S. de paille). Composts de 1978 et 1979.

Tableau 1a : Compost 1978 (inoculation à t0)

Composants	t en jours				Bilan %	
	Nature inoculum	t0	t50	t85		t150
Cellulose	S	73	60	47	16	- 79
	A	73	61	52	23	- 60
Lignine-H ₂ SO ₄	S	16	20	23	20	+ 25
	A	16	21	22	22	+ 38
Contenu cellulaire	S	32	17	16	22	- 31
	A	32	20	14	23	- 28

Tableau 1b : Compost 1979 (inoculation à t40)

Composants	t en jours			
	Nature inoculum	t40	t100	1500
Cellulose	T	79	62	23
	A	79	65	30
	S	79	61	25
	A+S	79	60	19
Lignine-H ₂ SO ₄	T	25	29	26
	A	25	25	23
	S	25	26	23
	A+S	25	29	24
Contenu cellulaire	T	18	17	10
	A	18	13	16
	S	18	11	17
	A+S	18	14	17

S : Spirillum
A : Actinomycète
A+S : Actinomycète + Spirillum
T : Témoin
t : Temps.

Tableau 2 : Action du compost enfoui à différentes doses sur le rendement du soja (kg/ha).

<u>Traitements</u>	<u>-Grains</u>	<u>Pailles</u>
0	2310 a	2065 a
1,5 t/ha	2602 b	3144 b
3 "	2554 bc	3160 b
4,5 "	2760 c	3006 b
6 "	2931 d	3389 c
C.V. % (1)	4,6	2,;

(1) Les résultats affectés d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au test de Kœuls $P = 0,05$

C.V. % = Coefficient de variation.

Tableau 3 : Humidité pondérale en pour cent par rapport au poids sec de compost

Mois (durée)	1	1,5	2	3	5	6	7	8	9
H %	84	82	85	84	80	80	78	80	75

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - GUEYE (Fatou) et GANRY (F.), 1979.
Etude du compostage des résidus de récolte, de leur valeur agronomique avant et après le compostage et de leur valorisation possible par la fixation de N₂.
Fondation Internationale de la Science (Stockholm) I.F.S. n° G 133.
Programme du 1.07.76 au 1.07.77.
- 2 - GANRY (F.), 1975.
Fiche technique de préparation du compost.
Doc. ronéo. CNRA de Bambey (Sénégal). 2 pages.
- 3 - GANRY (F.), GUEYE (F.), RINAUDO (E.) et DOMMERGUES (Y.), 1979.
Reduction of nitrogen losses during the composting by inoculation with Geijerinckia and Enterobacter.
Compte rendu Colloque international HUMUS et PLANTA BRNO (Tchécoslovaquie), en 1379, pages 327 à 330.
- 4 - GANRY (F.) et GUEYE (Fatou), 1979.
Rapport annuel 1978 "Gestion des résidus de récolte"
Doc. ronéo. CNRA de Bambey (Sénégal). 12 pages.
- 5 - GANRY (F.), DIEM (H.G.) et DOMMERGUES (Y.) 1980. Résultats non publiés.
- 6 - GANRY (F.), GUIRUD (G.), 1979.
Mode d'application du fumier et bilan azoté dans un système mil-sol sableux du Sénégal.
Colloque AIEA de Colombo "Isotopes and radiation on soil-plant relationships" - IAEA SM. 235/16/ pp 313-331.
- 7 - VAN SOEST (J.P.) et WHINE (P.M.), 1968.
Méthodes d'analyses de la lignine
J. of the AOAC. Vol.57, n° 4.
- 8 - VAN SOEST (J.P.), 1963.
Use of detergents in the analysis of fibrous feeds - II - A rapid method of the determination of fiber and lignin.
J. of the ASS. of Off. Agr. Chim., 46 (5), p. 829.
- 9 - O.K. A. (Official Method of Analysis), 1975.
Crude Fiber (17) Official Final action in "Official Method of Analysis" p. 136 (7.050-7.054), 1.2 & Ed.
Association of Agricultural Chemists Ed. Washington DC.
- 10 - PIERI (C.), 1980.
La fertilisation potassique du mil et le maintien de la fertilité des sols Dior - Note de synthèse
Doc. ronéo. ISRA-CNRA de Bambey - 3 pages.