

F

**A PROPOS DE L'ENFOUISSEMENT DE PAILLES
DANS LES SOLS SABLEUX TROPICAUX
DU SÉNÉGAL**

par F. Gaury (*), P. A. Roger (**) et Y. Dommergues (**)

(Note présentée par M. Georges Aubert)

INTRODUCTION

Un des thèmes directeurs de l'intensification de la production agricole au Sénégal, préconisé par les services de vulgarisation, est le labour d'enfouissement des pailles de céréale en fin de cycle cultural. Mais l'application de cette technique par les paysans se heurte à de nombreux obstacles d'ordre sociologique et agronomique (1). En ce qui concerne les obstacles agronomiques, l'expérience a montré que l'acceptation d'une technique par le paysan est fonction des résultats obtenus l'année même de son application. Or, il apparaît que bien souvent l'enfouissement des pailles de mil n'améliore nullement les rendements de la première récolte ; fait plus grave, on observe, dans certaines conditions, un effet dépressif aussi bien sur les rendements du mil que sur ceux de l'arachide.

L'effet dépressif de l'enfouissement des pailles sur les rendements est un phénomène bien connu, généralement attribué à un déficit du sol en azote (pailles à C/N élevé). Toutefois, on a émis l'hypothèse que cet effet pourrait être également dû à l'action de composés phytotoxiques contenus dans les pailles. La présente étude a pour objet : (1) de vérifier si l'effet dépressif de l'enfouissement de pailles de mil observé au Sénégal était dû uniquement à la première cause ou bien si la deuxième hypothèse devait être également invoquée ; (2) de recherche des remèdes à cet effet dépressif.

Nous n'avons pas essayé ici de déterminer l'effet de l'enfouissement de pailles sur le bilan de matières organiques du sol car un tel effet est difficilement mesurable dans des expériences de courte durée, telles que celles qui sont rapportées ici.

(*) I.S.R.A., C.N.R.A.-Bambey (Sénégal).

(**) O.R.S.T.O.M., B.P. 1386, Dakar.

In : Comptes Rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France,
1978, 64 (6)

ÉTUDE DE L'EFFET DÉPRESSIF DE LA PAILLE DE MIL

Le tableau 1 ci-dessous rappelle les principales caractéristiques du sol Dior (sol ferrugineux tropical peu lessivé) utilisé pour cette étude.

TABLEAU 1
PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU SOL DIOR

— Granulométrie (p. 100)	
Argile + Limon	4,5
Sables fins	75,0
Sables grossiers	20,0
— Carbone total (p. 1 000) 2,83	
— Azote total (p. 1 000) 0,19	
← Complexe absorbant en meq/100 g :	
Ca ⁺⁺	0,7
Mg ⁺⁺	0,2
Na ⁺	0,04
K ⁺	0,05
Somme des bases échangeables (S)	0,99
T	1,8
V = S/T × 100	55
— pH eau (susp. 1/2,5) 5,5	

La variété de mil utilisée pour l'étude était, au champ, le Souma III; variété de structure traditionnelle à forte croissance végétative. En cuve de végétation, on a utilisé un mil nouvellement sélectionné à structure céréalière, caractérisé par un cycle plus court (75 jours au lieu de 90 jours pour le Souma). Dans la rotation, ce mil a été cultivé après une arachide.

Première expérience

Cette expérience conduite au champ avait pour objet de vérifier l'effet dépressif de l'enfouissement de paille de mil sur les rendements du mil et de comparer l'effet de la paille non compostée à celui de la paille compostée. La paille non compostée a été apportée à la dose de 10 t de matière sèche (M.S.)

par hectare et la paille compostée à la dose de 8 t M.S. par ha (l'enfouissement d'une moindre dose de paille compostée a été réalisé pour tenir compte de la perte en matière sèche de la paille lors du compostage). Le compost a été préparé en fosse à partir de pailles de mil broyées (résidus d'environ 2 à 5 cm de longueur). Des couches de pailles humides ont été intercalées avec de minces lits de fumier qui sert d'inoculum. La durée du compostage a été de 4 à 6 mois.

Les parcelles de 50 m² chacune constituaient un essai bloc à 6 répétitions. Elles avaient reçu la même fertilisation : fumure forte de 150 kg/ha d'un engrais ternaire 10-21-21 plus 100 kg/ha duré en fumure complémentaire.

TABLEAU 2
INFLUENCE DE L'ENFOUISSEMENT DE PAILLE DE MIL COMPOSTÉE OU NON SUR LES RENDEMENTS DU MIL EXPRIMÉ EN KG MATIÈRE SÈCHE PAR HA

	RENDEMENTS			
	Paille	Grains	Rachis + glumes	Total
Témoin (sans enfouissement)	7 040a	2 488a	1 195ac	10 689ac
Enfouissement paille non compostée.	5 940b	2 252a	1 134a	9 209a
Enfouissement paille compostée	7 860a	2 510a	1 369bc	11 715bc

Les résultats qui portent une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 0,05.

Les résultats du tableau 2 montrent un effet dépressif de la paille non compostée sur le rendement en paille malgré l'apport complémentaire duré. Le compostage a fait disparaître cet effet dépressif. Notons qu'un échaudage dû à une sécheresse intervenue en fin du cycle avait compromis les traitements donnant un développement végétatif relativement plus abondant que les autres (le développement végétatif étant figuré par le rendement en paille dans le tableau 2).

Deuxième expérience

La deuxième expérience conduite en cuves de végétation, avait pour objet d'éclaircir l'origine de l'effet dépressif observé au champ. On a comparé l'effet de l'enfouissement d'une paille de mil non compostée (10 t MS/ha) à celui d'un compost et d'un fumier de paille de mil, en l'absence de fumure azotée, ou en présence d'un apport de 200 kg d'urée par ha.

Les cuves de végétation contenaient 70 kg de sol et comportaient un pied de mil par cuve (4 répétitions par traitement).

TABLEAU 3

INFLUENCE DE L'ENFOUISSEMENT DES PAILLES DE MIL COMPOSTÉES OU NON ET DE FUMIER SUR LE RENDEMENT DU MIL EXPRIMÉ EN G MATIÈRE SÈCHE PAR PIED, EN L'ABSENCE OU EN PRÉSENCE D'ENGRAIS AZOTÉ (URÉE)

	APPORT D'ENGRAIS AZOTÉ	
	0	200 kg/ha
Témoin	79 ^a	155 ^a
Enfouissement de paille non compostée .	29 (—63 %) ^b	119 (—23 %) ^b
Enfouissement de paille compostée . . .	55 (30—%) ^c	170 (+10 %) ^a
Enfouissement de fumier de paille. . . .	96 (+21 %) ^a	153 ^a

Entre parenthèses on a exprimé les résultats en pourcentage par rapport aux témoins.

Le tableau 3 montre que, même en présence d'un apport élevé d'azote (200 kg urée/ha), l'enfouissement de paille non compostée a réduit significativement la croissance du mil (—25%), ce qui confirme les résultats obtenus au champ (première expérience). Le fumier de paille n'a exercé aucun effet dépressif. Le compost de paille en présence d'azote a accru le rendement de 10 %.

Le fait que l'apport élevé d'azote ne ramène pas au niveau du témoin le rendement obtenu avec l'enfouissement de paille non compostée, suggère que des substances phytotoxiques conte-

nues dans la paille de mil pourraient intervenir pour inhiber la croissance de la plante. Etant donné que de nombreux auteurs ont attribué la phytotoxicité de résidus végétaux ou du sol à la présence d'acides-phénols (3, 4, 5, 6), nous avons étudié l'évolution des quantités d'acides-phénols libérés par une litière de mil au cours d'une période de compostage de trois semaines.

DOSAGE DES COMPOSÉS PHÉNOLIQUES
DANS LES RÉSIDUS DE RÉCOLTE DE MIL

Méthode de dosage

Après récolte des épis, des échantillons de 20 g chacun, de feuilles, tiges et racines de mil variétés Souma, ont été séchés à l'air et grossièrement hachés puis placés dans trois colonnes à percoler mises dans une étuve à 30°C; puis tous les 2, 3 et 5 jours, on a extrait les fractions solubles dans 200 ml d'eau après un contact de 2 h 1/2. La première extraction a été effectuée par une suspension-dilution de sol Dior au 1/100^e de façon à commencer le milieu et permettre un compostage de la litière entre chaque extraction.

Après chaque percolation, l'extrait a été concentré sous vide à 20 ml, et amené au pH 1. Après une nuit à 4°C, les composés polymérisés ont été précipités, puis la solution a été centrifugée. Les phénols et acides-phénols ont été extraits par l'acétate d'éthyle sur le surnageant et sur le résidu sec (8).

Les acides-phénols ont été séparés par chromatographie bidimensionnelle sur papier Whatman n° 1 à l'aide des solvants suivants :

- Solution aqueuse d'acide acétique à 2 % (chromatographie ascendante : 2-3 h) ;
- Benzène, acide acétique, eau dans le rapport 7, 6 et 5 (en volume) (chromatographie ascendante : 9 h).

L'identification a été faite par examen direct des chromatogrammes en lumière de Wood. Les chromatogrammes ont été ensuite révélés soit par une solution de p-nitraniline diazotée, soit par une solution aqueuse de chlorure ferrique. Le dosage a été effectué par mesure de la densité optique des taches à l'aide d'un densimètre Photovolt Corporation selon la technique de Metche et al. (10).

Résultats et discussion

La méthode utilisée a permis de caractériser et de doser dix acides-phénols (tab. 4) ; par ailleurs, dix-neuf composés non identifiés ont été mis en évidence. L'étude de la percolation en fonction du temps (tableau 5) indique que la libération d'acides-phénols est pratiquement nulle après quinze jours de compostage et qu'environ 95 % des acides-phénols sont extraits durant la première semaine.

C'est dans les feuilles que la teneur en acides-phénols est la plus forte (410 ppm). Cette teneur élevée est de l'ordre de grandeur des teneurs maximales trouvées par Jung (11) dans les litières forestières tempérées et tropicales (*Calluna* : 489 ; *Khaya senegalensis* : 448 ppm).

TABLEAU 4
TENEURS (ppm) DES RÉSIDUS DE RÉCOLTE DE MIL EN ACIDES-PHÉNOLS EXTRAITS PAR PERCOLATION EN 20 JOURS

	TIGES	FEUILLES	RACINES
Salicylique	29	90	54
Féruilique	20	80	53
Vanillique	23	24	14
o. coumarique	00	18	00
p. coumarique	68	58	54
p. hydroxybenzoïque	25	36	26
m. hydroxybenzoïque	17	28	18
Genésique	12	16	00
Galéique	12	40	00
Protocatéchique	12	20	07
Total	268	410	226

Les teneurs trouvées dans les tiges et les racines de mil (268 et 226 ppm respectivement) sont relativement élevées si on les compare à celles déterminées par Jung (11) pour d'autres plantes réputées riches en acides-phénols (*Acacia* 124 ppm, *Guiera* : 171 ppm ; *Gmelina* : 175 ppm, *Pinus* : 188 ppm, *Fagus* : 69 ppm, *Festuca* : 59 ppm). Parmi les acides-phénols mis en évidence, les plus abondants sont par ordre de concentration décroissante : féruilique, p. coumarique, salicylique, p. et m. hydroxybenzoïque, et vanillique.

La phytotoxicité des acides féruilique, p-coumarique, p-hydroxybenzoïque et vanillique a été montrée, entre autres, dans des sols cultivés en canne à sucre (12) et sorgho (13) et en riz (14).

TABLEAU 5

PROGRESSION EN FONCTION DU TEMPS DE L'EXTRACTION D'ACIDES-PHÉNOLS A PARTIR DES RÉSIDUS DE RÉCOLTE DE MIL. LA PREMIÈRE LIGNE INDIQUE LES TENEURS ABSOLUES CUMULÉES, LA DEUXIÈME LES POURCENTAGES CORRIGÉS PONDANTS, PAR RAPPORT A LA TENEUR OBTENUE APRÈS 21 JOURS DE PERCOLATION

	JOURS DE PERCOLATION						
	0	2	4	7	10	15	21
Tiges	119 44,4	186 69,4	230 85,8	252 94,0	264 98,5	268 100	268 100
Feuilles	163 39,7	265 64,6	343 83,6	372 90,7	401 97,8	409 99,7	410 100
Racines	107 47,3	181 80,0	203 89,8	214 94,6	225 99,5	226 100	226 100

Cette action phytotoxique peut être très remarquée car les acides-phénols sont actifs même à faible concentration : l'acide-p-coumarique, par exemple, est inhibiteur de la croissance du seigle, du blé et du maïs, dès que sa concentration atteint 10 ppm (7).

En ce qui concerne le cas des pailles de mil, qui nous intéressent ici, nous venons de montrer que leur teneur moyenne en acides-phénols est de l'ordre de 500 ppm. Si l'on admet que lors de l'enfouissement de 10 t (matière sèche) de paille par hectare, cette paille est mélangée à 1/10^e de la masse du sol, soit 300 t, cette masse renfermerait 10 ppm d'acides-phénols, ce qui correspond au seuil d'inhibition qui vient d'être rappelé.

ÉTUDE DE LA COMPOSITION PHLÉNOLOGIQUE DE LA LITIÈRE DE MIL COMPOSTÉE

Nous avons dosé les acides-phénols hydrosolubles sur un échantillon de paille de mil compostée ; l'extraction est effectuée par agitation pendant 30 minutes, d'un mélange de 100 g de compost et de 900 ml d'eau.

Le chromatogramme ne montre que des petits polymères à Rf nul ; les acides-phénols sont indécrochables, ce qui indique une teneur inférieure à 0,1 ppm.

Centre National de Recherches Agronomiques de BAMBEY
Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (I.S.R.A.)

CONCLUSION

Parmi les deux causes impliquées dans l'effet dépressif observé lors de l'enfouissement des pailles de mil, leur phytotoxicité semble jouer un rôle important, affectant tout particulièrement le début du cycle végétatif de la plante. Cette phytotoxicité pourrait être mise en relation avec la teneur élevée de ces pailles en acides-phénols.

L'expérience d'extraction des composés phénoliques par percolation que nous venons de réaliser indique que ces composés peuvent être libérés dans le milieu pendant trois semaines. D'un autre côté, les observations au champ montrent que l'effet dépressif de l'enfouissement de paille sur la germination et la levée des plantules se manifeste essentiellement dans les quinze jours qui suivent l'enfouissement, puis décroît ensuite pour s'annuler au trentième jour environ, vraisemblablement à la suite de l'élimination des composés phénoliques par biodégradation ou par lessivage.

En pratique, il serait possible d'éviter ou d'éliminer cet effet phytotoxique en enfouissant des pailles *en sol humide*, *en fin de cycle culturel* afin que les composés phytotoxiques soient éliminés avant la germination ou en compositant des pailles avant enfouissement. Malheureusement, ces deux techniques se heurtent à des difficultés d'application dans le paysannat sénégalais ; d'autres solutions sont actuellement à l'étude.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) FAYE (J.), 1977. — Problématique d'un thème agricole : le labour de fin de cycle avec enfouissement de pailles. Séminaire sur les technologies combinées dans l'agro-système sahélien du 4 au 14 janvier 1977 à Dakar.
- (2) GAUVY (F.), GOURAUD (G.), DOMMERGUES (Y.), 1976. — Effect of straw incorporation on the yield and nitrogen balance in the sandy soil-pearl millet cropping system of Senegal. Intercongress of the International Society of soil science, Israel, Jerusalem, June 13-18, 1976.
- (3) FLUY (C. L.), RICE (E. L.), 1967. — Inhibition of higher plants by three bacterial growth inhibitors. *Bull. of the Torrey Botanical Club*, 94 (3), 125-129.
- (4) GUENAI (W. C.), McCALLA (T. M.), 1966. — Phytotoxic substances extracted from soil. *Soil. sci. soc. amer. Proc.*, 30 (2), 214-216.
- (5) PATRICK (Z. A.), 1971. — Phytotoxic substances associated with the decomposition in soil of plant residues. *Soil sci.*, 111, 13-18.
- (6) RICE (E. L.), 1974. — Allelopathy (T. T. Kozlowski éd.). Academic Press, Inc. New-York San-Francisco, London, 353 pp.
- (7) HENNEQUIN (J. R.), JUSTE (C.), 1967. — Présence d'acides-phénols libres dans le sol. Etude de leur influence sur la germination et la croissance des végétaux. *Ann. Agron.*, 18 (5), 545-569.
- (8) BURCKERT (S.), JACQUIN (F.), MERCIER (M.), 1967. — Contribution à l'étude des acides-phénols présents dans les sols. *Bull. E.N.S.A.N.*, 9 (2), 73-92.
- (9) MERCIER (M.), JACQUIN (F.), NGUYEN (O. H.), URON (E.), 1962. — Détermination quantitative d'acides-phénols par chromatographie sur papier. *Bull. Soc. Chim. Fr.*, pp. 1763-65.
- (10) JUNG (G.), 1968. — Etude comparée de diverses substances hydrosolubles extraites de quelques lianes tropicales et tempérées. *Écol. Plant.*, 3, 237-253.
- (11) WANG (T. S. C.), YANG (T. K.), CHUANG (T. T.), 1967. — Soil phenolic acids as plant growth inhibitors. *Soil Sci.*, 103 (4), 239-245.
- (12) BURGOS-LEON (W.), 1976. — Phytotoxicité induite par les résidus de *Sorghum vulgare* dans les sols sableux de l'Ouest africain. Thèse de spécialité, Nancy.
- (13) CHANDRAMOHAN (D.), PURUSHOTHAMAN (D.), KOTIRANDARAMAN (R.), 1973. — Soil phenolic and plant growth inhibition. *Plant and soil*, 39, 303-308.

M. Désiré Leroux. — Cet enfouissement de pailles n'est-il pas susceptible de provoquer des phénomènes de réduction ? Les sols considérés sont-ils bien aérés ?

M. Georges Aubert. — Oui, les sols Diors en question, sont des sols bien aérés même en période de pluie. Je ne pense pas qu'ils subissent le moindre phénomène d'engorgement.

M. Angladette. — J'ai écouté avec grand intérêt cette communication, que je rapprocherai des travaux qui ont été faits, plus ou moins récemment d'ailleurs, d'une part à Sefa, d'autre part à la Station agronomique de Bamby.

Les travaux auxquels je fais allusion sont de deux sortes : d'une part l'enfouissement des pailles de riz. Dans ce cas, il n'y a aucune manifestation de toxicité, l'enfouissement des pailles de riz donne toujours un accroissement de récolte, surtout si cette opération se fait en fin de saison des pluies, en fin de cycle, ce qui est plus commode d'ailleurs, vu le climat un peu plus humide que dans la partie nord du Sénégal.

Et, d'autre part, ce sont les travaux, qui sont déjà assez lointains mais qui ont eu pour effet de comparer les accroissements de récoltes obtenus par les agriculteurs à l'ombre d'« *acacia albida* » auquel vous faisiez allusion tout à l'heure. Bien entendu il ne s'agit plus d'enfouissement, mais vraisemblablement de l'action de la partie racinaire de l'« *acacia albida* ». En tout cas le travail rapporté est très intéressant, d'autant plus que pratiquement l'enfouissement des pailles de mil, comme celles de sorgho, n'est pas réalisé dans la pratique car ce sont des matériaux de grande taille — trois à quatre mètres : — on voit mal comment pourrait se faire l'enfouissement, sauf s'il est précédé d'un girobroyage.

En réalité, il est plus facile de les composter, encore que dans la note, quelque chose me semble étonnant : j'ai l'impression que malgré tout, l'enfouissement de pailles de riz compostées ne donnait guère d'accroissement de rendement par rapport au témoin. Dans la plupart des cas, il n'y avait certes pas diminution de rendement, mais pas non plus accroissement.

M. Georges Aubert. — Dans l'ensemble, les apports de pailles compostées donnent une augmentation de rendement qui est importante, mais dans le cas de l'apport de pailles compostées avec très fort apport d'urée en même temps, l'augmentation de rendement par rapport au témoin et au fumier est relativement plus limitée, mais elle est beaucoup plus importante que l'apport de pailles non compostées qui est très nettement en-dessous du témoin et du fumier.

Je remercie M. Angladette qui connaît ces régions et leurs problèmes certainement extrêmement bien.

Je ne le suivrai pas quant au problème de l'« *Acacia albita* ». C'est un arbre providentiel qui, heureusement pour les populations de ces pays, garde son feuillage en saison sèche et le perd au moment de la saison des pluies. En plus de cela, ses fruits arrivent à la fin de la saison sèche, et ils sont, paraît-il, excellents pour le bétail, en particulier pour les bovins.

M. Lavollay. — M. le Président, je lirai cette Note avec beaucoup d'intérêt, car elle paraît établir la phytotoxicité de certains constituants phénoliques de la paille de Mil. Plusieurs acides-phénols ont en effet des propriétés de régulateurs de croissance et sont phytotoxiques à partir de certaines concentrations ; mais ils sont dégradés par la microflore du sol.

Parmi les composés trouvés dans la paille de Mil, notre Confrère a cité l'« acide coumarique ». S'agit-il de l'acide ortho-couramique (dont la lactone est la coumarine) ou de l'acide para-couramique ? Le second est très répandu chez les végétaux.

M. Georges Aubert. — C'est l'acide para-coumarique ; l'acide ortho-coumarique existe un peu dans les feuilles, mais beaucoup moins que l'acide para-coumarique ; à partir des racines, on obtient de l'acide para-coumarique ainsi que à partir des tiges. Les auteurs ont cité une dizaine d'acides phénoliques bien caractérisés et ils indiquent qu'il y en a dix-neuf autres dont ils n'ont pas précisé la nature.