

CN 0100582
P356
GAN

D/CNRA
1980/51

REPUBLIQUE DU SENEGAL
PRIMATURE

SECRETARIAT D'ETAT
A LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE



GESTION DES RESIDUS DE RECOLTE ET ECONOMIE DE L'AZOTE
AU SENEGAL

par

F. GANRY* et Y. BERTHEAU**
Division de Biochimie des sols du C.N.R.A.

Séminaire régional FAO sur le recyclage organique
en agriculture en Afrique de l'Ouest
24-28 Novembre 1980 Lomé (TOGO)

Novembre 19' 30

Centre National de Recherches Agronomiques
de Bamboye

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

* Ingénieur de Recherche IRAT, mis à la disposition de l'ISRA.

** Ingénieur de Recherche, V.S.N. mis à la disposition de l'ISRA.

S O M M A I R E

| | Pages |
|---|-------|
| Avant-Propos | 2 |
| Introduction | 3 |
| A - Enquêtes sur les disponibilités en matières organiques., | 3 |
| 1- Bassin arachidier | 4 |
| 2- Casamance | 5 |
| 3- Enseignements tirés des enquêtes. | 5 |
| B - Valorisation des résidus post-récolte. | 6 |
| 1- Compostage anaérobie: compost biogaz | 6 |
| 2- Compostage aérobie : composte C.I.D.R. | 7 |
| 3- Compostage semi-anaérobie de la paille | 7 |
| 31. Indications générales sur la fabrication du compost | 7 |
| 32. Réduction des pertes d'azote au cours du processus de compostage | 7 |
| C - Action des pailles, compost et fumier sur les cultures de mil | 9 |
| 1- A propos de l'enfouissement des pailles: le risque de phytotoxicité | 9 |
| 2- A propos de l'enfouissement de compost: rendement et valeur nutritionnelle ; teneur en azote du sol | 10 |
| 3- Effet comparatif de l'enfouissement de paille et de compost sur le coefficient d'utilisation réel de l'engrais azoté et sur l'azote du sol | 10 |
| 4- Modalités d'apport du fumier, rendement et Bilan azoté | 11 |
| Conclusion | 14 |
| Bibliographie citée | 17 |

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

Un double souci a toujours prévalu dans la définition des orientations de la recherche agronomique sénégalaise: l'amélioration de la production végétale, et, indissociablement, le maintien du patrimoine foncier agricole (en plus simple la conservation des sols).

Si ce premier souci est d'une telle évidence qu'il n'est guère besoin de le souligner, le deuxième par contre échappe malheureusement encore souvent à l'entendement des non initiés à la connaissance de la terre.

Dans ce double souci, les travaux naguère conduits par l'IRAT puis maintenant par l'ISRA et par l'IRAT au Sénégal ont consisté - et consistent - en la recherche et la mise en oeuvre de techniques culturales relatives aux modalités de fumures azotées et organiques et aux traitements biologiques des sols applicables en milieu rural.

Ce présent rapport fait le point de l'avancement des travaux relatifs à la gestion des résidus de récolte dans le cadre des programmes GERDAT* conduits au CNRA de Bambey depuis 1975.

IRAT : Institut de Recherches Agronomiques Tropicales

ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

GERDAT: Groupement d'étude et de Recherche pour le Développement de l'Agronomie tropicale

* Programme GERDAT Référence ISRA 2/7 et ISRA 2/4-13.

INTRODUCTION

Los techniques à l'étude dans le cadre des programmes précédemment évoqués (Cf. Avant-Propos) sont destinées, en système de culture traditionnel-ou intensif, à satisfaire deux objectifs primordiaux :

- l'optimisation du bilan de l'azote au sein d'agro-système céréales-légumineuses, principalement par la gestion des résidus de récolte;
- l'amélioration de la fertilité biologique des sols, principalement par l'inoculation microbienne (Rhizobium, Endomycorhizo, fumier).

Les difficultés de restitution directe des résidus de récolte dans les exploitations agricoles sous ont amené à étudier la restitution différée dans le temps, de résidus transformés.

De ce fait, les thèmes de recherche relatifs à l'optimisation des rendements et du bilan azoté dans l'exploitation, par les techniques d'apport de fumier et/ou de compost, sont devenus essentiels et ont conduit à l'étude des processus de compostage semi-anaérobie et anaérobie (biogaz).

Parallèlement à ces études en laboratoire et en station, des enquêtes en milieu rural ont permis de cerner le véritable problème qui se pose au niveau des restitutions organiques, notamment en ce qui concerne la nature des matières organiques restituables et les quantités disponibles de celles-ci.

A - ENQUETE SUR LES DISPONIBILITES EN MATIERE ORGANIQUE ET LEUR MODE DE RESTITUTION AU SOL

L'évaluation des disponibilités en matériaux cellulosiques et leurs modes de restitution ont fait l'objet de trois enquêtes en milieu rural. La première a été réalisée dans la zone Thiès-Diourbel (isohyète 400-600mm) et la seconde dans le Sine-Saloum (isohyète 700-900mm); une troisième enquête vient d'être réalisée dans le Sud du pays sn Casamance (isohyète 1000-1500mm) et une quatrième enquête sera réalisée en 1981 dans la région de Louga (isohyète 200-400 mm).

Il est prévu la publication dans la revue "L'Agronomie Tropicale" d'une synthèse faite à partir de ces trois enquêtes: de l'isohyète 300mm à l'isohyète 1300 mm. Ces études se situent autant que possible dans un cadre dynamique prenant en compte les tendances et Evolutions qui modifient actuellement les systèmes de production.

* L'Agronomie Tropicale, 110, rue de l'Université 75 340 Paris CEDEX 07.

1- Bassin arachidier: isohyète 400 à 900 mm (1, 2)*

Les estimations concernant la production cellulosique peuvent schématiquement se scinder en deux groupes. D'une part la zone des 500-700mm (Sine-Saloum englobant la région de Thiès-Diourbel) où les rendements moyens post-récolta seraient :

- paille de mil 1,5 t à 2 tonnes/ha
- fanes d'arachide 0,6 t à 1,2 tonnes/ha

d'autre part la zone des 300-1000mm (le sud Sine-saloum) plus arrosée qui forme une zone distincte où les productions s'établiraient à un niveau supérieur :

- paille de mil 2 - 3 tonnes/ha
- fanes d'arachide 1 à 1,5 t/ha

Les "herbes de jachère" constituent la troisième source de matière organique. Une évaluation approximative, en fonction des situations pédoclimatiques locales, donne des valeurs comprises entre 1 t et 3 t/ha ou 0,3 à 0,8 t/ha.

Les taux de collecte et les modes d'utilisation des matières cellulosiques reflètent aussi une nette opposition Nord-Sud.

| Taux moyens de collecte | Tiges de mil | Fanes | Herbes de jachère |
|-------------------------|--------------|-------|---------------------------------|
| Nord | 50% | 100% | 0,6 - 3 t/exploitation (carre) |
| Sud | 12-15% | 100% | 0,2 - 1 t/exploitation (carre). |

Dans la zone Nord, le ramassage plus intensif s'accompagne d'une redistribution aux animaux du carré des tiges de mil et herbes de jachère, modifiant ainsi les rations basées traditionnellement sur les fanes d'arachide, encore en vigueur au Sud. L'intégration agriculture-élevage crée dans la région une situation conflictuelle vis-à-vis des systèmes transhumants traditionnels. En effet, conjointement à un déficit nutritionnel certain en fin de saison, il s'établit une valorisation progressive des résidus de récolte de plus en plus commercialisés vers le Nord du bassin arachidier. Ainsi les quantités résiduelles avant brûlis sont modifiées et toujours inférieures à 0,5 tonne M.S./ha.

La seule voie actuelle de restitution organique provient des déjections animales (troupeaux transhumants, troupeaux villageois, animaux du carré). Réparti sur toute l'exploitation, le taux de restitutions, au sol en tenant compte des utilisations domestiques, des pertes inévitables, mais aussi des apports extérieurs (herbes de parcours) serait d'environ 2 tonnes M.S./ha. (Mais en général les surfaces sont inférieures à 50% du total).

En réalité, seules certaines parcelles, en nombre très minoritaire sont fumées volontairement, voire même surfumées. Il y a là un transfert de fertilité, entraînant un appauvrissement constant des parcelles éloignées du carré vers les parcelles fumées.

La production de fumier des animaux du carre avoisine 1,5t à 2 t NS. par an. Pour les paysans pourvus de troupeaux, ou établissant des contrats de parcage, les amendements organiques ainsi obtenus sur une surface évidemment limitée, seraient de 5 à 10 t MS/ha avec des extrêmes de 5 à 10 tonnes MS/ha. Souvent par manque de terre disponible en hivernage, une perte importante de la production annuelle des troupeaux n'est pas récupérée.

2- Casamance: isohyète 900 à 1500 mm (3, 4)

La collecte des fanes d'arachide est totale en Casamance orientale et centrale; elle est nulle dans les zones centre-sud et occidentale de cette région où une grande partie des fanes n'est pas consommée par le bétail divagant par suite du piétinement.

L'ensemble des tiges de torgho est abandonné aux champs; les tiges de mil sont partiellement récoltées pour la construction. Enfin La paille de riz, laissée sur place pour le bétail, est brûlée avant l'hivernage dans les zones orientales et centrales, mais enfouie lors des labours en billons de début de cycle en zone occidentale.

3- Enseignements tirés des enquêtes

L'utilisation des engrais minéraux est toujours nettement inférieure aux apports recommandés par le Développement (mais excepté); ils sont généralement réservés aux terres dépourvues de fumure organique ou appauvries. Pour cette raison, un effort de rationalisation devrait être entrepris à la fois sur la répartition et la périodicité des fumures organiques (nécessité de la définition d'une dose optimale). Un accroissement des restitutions s'avère indispensable, soit par la valorisation des résidus post-récolte: étable fumière, compostage, soit par l'introduction de nouvelles techniques culturales notamment la culture de légumineuses fourragères.

Enfin un des enseignements de ces enquêtes à la Recherche agronomique est de fournir des principes de méthode cohérents avec la pratique que l'on peut résumer en trois points :

a) les quantités de matière organique disponibles dans les exploitations sont nettement inférieures à celles utilisées généralement dans les expérimentations en station, d'où la nécessité d'expérimenter en station, des "doses" de matière organique cohérentes avec la pratique agricole et de se référer à celle-ci;

b) il découle de (a), la nécessité d'envisager en station au moins 2 niveaux d'intensification > un correspondant à la pratique agricole et l'autre, à un niveau supérieur, faisant ressortir les potentialités de la plante et du milieu (vers lequel ce premier devrait tendre, dans la pratique, au fur et à mesure de l'intensification).

c) d'une manière générale, mais encore plus en raison des faibles quantités de matière organique restituées au sol, il importe que soit considéré l'effet à long terme de la restitution organique sur un temps suffisamment long qui permette au système d'atteindre l'état d'équilibre.

B - VALORISATION DES RESIDUS POST-RECOLTE

1- Le compostage anaérobie: compost "biogaz" (3, 5, 6, 7)

Le compostage anaérobie est l'une des voies possibles de valorisation des résidus post-récolte.

Après une expérience limitée en laboratoire qui a permis de tester quelques potentialités de fermentation méthanogène d'un fumier de ferme (7), une autre étude in situ en collaboration avec CARITAS Sénégal (Organisme d'Aide et de Développement), a porté sur un fermenteur continu implanté en milieu rural. Le suivi technique s'est inscrit dans un cadre socio-économique, accompagné d'une évaluation des qualités agronomiques de ce compost dont voici résumés les résultats :

- le compost effluent a permis d'augmenter les poids en grains de 33% pour le mil et 16% pour l'arachide (en effet direct en présence d'une fumure minérale);
- l'apport de phosphate supertriple a diminué les pertes d'azote qui se produisent à partir du compost surtout s'il est soumis à des alternances d'humidité.

Actuellement un fermenteur en continu de 800 litres, en fûts de 200 litres découpés et soudés, est expérimenté au CNRA; les modifications apportées au modèle "Zaïrois" dont il est issu (3) visent à répondre aux exigences suivantes :

- possibilité de préfermentation aérobie;
- utilisation de déchets organiques grossiers (coque d'arachide, paille sectionnée);
- possibilité de fixation biologique d'azote de l'air dans les effluents.

Ce fermenteur s'est avéré jusqu'à présent très fiable, d'une maintenance des plus aisées et est actuellement en cours d'implantation chez un agriculteur dans une structure intégrée et dans un projet "Ferme pilote". Son installation vise à connaître les problèmes posés lors de son utilisation par les agriculteurs et sa couverture énergétique maximum.

Un projet coordonné regroupant différents laboratoires devrait prochainement être mis en œuvre; élaboré pour l'ensemble du Sénégal, les enquêtes passées ou en cours ^{qui} permettront de tenir compte des spécificités des principales zones écologiques (notamment type et quantités de matériaux fermentescibles, utilisation). Ces installations viseront une structure

intégrée (incluant par exemple maraîchage, culture d'algues dans les bassins de décantation) et seront suivies par des équipes pluridisciplinaires mises en place (notamment Agronomes, Algologues, Socio-économistes).

2- Le compostage aérobie: compost CIDR (Y)

Le compost aérobie selon la technique CIDR* expérimentée à l'ISRA est une voie possible de valorisation industrielle des sous-produits de récolte tels que coque d'arachide, balles de riz, bagasse de canne à sucre.

De ce projet ISRA-CIDR, on peut à l'heure actuelle tirer les enseignements suivants :

- sur le plan technologique, le procédé est maintenant au point au niveau de l'agitation dans la cuve principale de fermentation et au niveau de la presse;

- sur le plan agronomique, on n'observe pas d'effets annuels significatifs de l'enfouissement du compost de coque d'arachide sur le rendement du mil et de l'arachide (dans les conditions de Bamboey: sol relativement riche, sécheresse); en revanche, les coques compostées se décomposent plus vite dans le sol que les coques fraîches.

En conclusion sur ce procédé de compostage, nous dirons notre scepticisme sur l'intérêt au niveau de l'application industrielle, d'un tel projet. La seule application réaliste possible serait au sein des entreprises agricoles où le recyclage des résidus organiques dans les champs de production végétale permettrait l'apport d'intrants à bon marché (Compagnie sucrière, Entreprises rizicoles . . .).

3- Compostage semi-anaérobie de la paille: diminution des pertes d'azote et possibilité de gain d'azote par voie biologique

31- Indications générales sur la fabrication du compost

Les résultats des différents essais de compostage de paille de mil réalisés à Bamboey, ont conduit à l'élaboration d'une fiche technique de fabrication de compost (10). Les points saillants qu'il convient de retenir sont les suivants :

- le compostage peut se faire, ou en meule sous film plastique, ou en fosse (préférable);
- le résidu doit être hâché avant char-ornement de la fosse ou de la meule;
- le tas ne doit pas être de trop petites dimensions, une hauteur acceptable semble être de 2m à 2,5m après chargement, mais moindre (1,5 à 2m) en zone peu pluvieuse, où l'arrosage du compost n'est pas possible, afin d'augmenter la surface réceptrice des Pluies par rapport à la hauteur;

* CIDR: Centre International de Développement et de Recherche

- un résidu plus ou moins ligneux pourra être composté à condition de la mélanger à une paille fermentescible;
- effectuer au moins un recoupage (brassage) en cours de fermentation, surtout le compost se fait sous l'action des pluies;
- la durée du compostage ne devrait pas être inférieure à 5 mois.

32- Réduction des pertes d'azote au cours du processus de compostage

Les bilans réalisés après compostage des pailles de mil mettent généralement en évidence des pertes qui sont de l'ordre de 45% pour la matière sèche et de 20% pour l'azote (9).

Mais ces bilans réalisés globalement sont approximatifs; il importait de les préciser. Par ailleurs, nous avons recherché les moyens de diminuer les pertes d'azote :

- par certaines techniques chimiques comme le phosphatage par le phosphate monocalcique (super-simple ou super-triple) ; cela sera confirmé et quantifié ici;

- en explorant la voie de la fixation libre de l'azote de l'air (N₂) en vue de réduire ces pertes sinon d'apporter un gain d'azote dans la compostière.

321. Une expérience préliminaire (11) réalisée à Bambeï laissait entrevoir la possibilité d'obtenir des bilans d'azote positifs, grâce à cette fixation de N₂. En effet, une inoculation de Beijerinckia, réalisée après la phase de fermentation exothermique, avait engendré un gain d'azote de 2kg par tonne de paille mise à composter (par fixation de N₂).

322. Dans une deuxième expérience (12) la paille était inoculée avec deux souches bactériennes fixatrices de N₂ : Beijerinckia, Enterobacter et l'association de ces deux souches, donc 3 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 :

- une première phase (50-60 jours) pendant laquelle le système perd de l'azote: la teneur en N augmente de 0,7% à t₀ à 1,0% à t₄₀, 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 phosphate (super-triple).

- une deuxième phase pendant laquelle on observe une remontée du stock d'azote, décelable au 10e et 150e jour; celle-ci n'est pas modifiée par l'apport de phosphate

Le stock d'azote de chaque micro-compartiment, au départ de 1446mg d'azote, passé par un minimum de 1096mg et atteint 1642mg d'azote après 3 mois

* à t₀ temps: indicateur nombre de jours après début expérimentation

de compostage (intervalle de confiance à $P0,05 = 1642 \pm 140$), soit un enrichissement de 14% par rapport à la paille de départ à t_0 et de 50% par rapport à la paille à t_{50} . Ces résultats concernent donc la paille non inoculée biologiquement.

L'inoculation par des fixateurs d'azote (N_2), dans les 3 traitements inoculés, n'a augmenté que légèrement le stock d'azote (7% d'augmentation par rapport au témoin au 150e jour, mais résultat non significatif).

Nous avons pensé pouvoir améliorer l'effet de cette inoculation en associant des micro-organismes décomposeurs aux fixateurs, ce qui fut fait dans une troisième expérience.

323. Dans une troisième expérience (13) la paille était inoculée avec un décomposeur: actinomycète, et un fixateur diazotrophe: Spirillum, séparément et ensemble.

On a mis en évidence deux phases 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 150e jour de retrouver le stock d'azote 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".

En conclusion, il importe de retenir deux résultats: l'un concernant 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; pour des temps de compostage plus long, supérieurs à 3 mois, on a mis en évidence une remontée du stock d'azote due vraisemblablement à une fixation de N_2 qui ne rendrait plus nécessaire ce phosphatage (mais celui-ci pourrait être utilisé pour constituer une fumure phospho-organique). L'inoculation par 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 N_2 .

C - ACTION DES PAILLES, COMPOST ET FUMIER SUR LES CULTURES DE MIL

1- A propos de l'enfouissement des pailles: le risque de phytotoxicité (14)

L'application de la technique d'enfouissement de paille par les paysans se heurte à de nombreux obstacles d'ordre sociologique et agronomique (15). En ce qui concerne ces derniers, il semble que l'absence d'effet - voire l'effet dépressif - de l'enfouissement de paille soit un des obstacles à considérer.

A cet égard, une étude a été conduite pour en élucider les raisons. Les deux causes possibles impliquées dans l'effet dépressif observé lors de l'enfouissement de paille sont: "faim en azote" et/ou phytotoxicité.

Expérimentalement, nous avons montré que la phytotoxicité des pailles peut exister et jouer un rôle important, affectant particu-

*Le poids MS final à $t_{150-180}$ est de 3 à 4 fois moindre que le poids initial

rement le début de cycle végétatif de la plante. L'hypothèse de cette phytotoxicité est cohérente avec la teneur élevée de ces pailles en acides phénols mise en évidence en début de fermentation et dont la disparition au bout de 20 jours a été constatée (14).

En pratique, il serait possible d'éviter ou d'éliminer cet effet phytotoxique en enfouissant les pailles en sol humide ou fin de cycle cultu-
ral, afin que les composés phytotoxiques soient éliminés avant la germination.

2- A propos de l'enfouissement de compost: rendement et valeur nutritionnelle, teneur en azote du sol

Le compost stimule la fourniture de nitrates dans le sol et la prolonge (16). Cet effet expliquerait l'augmentation de rendement du mil (+300 kg de grains en moyenne sur 4 années), de la teneur en protéines et de la valeur nutritionnelle (17). L'augmentation de rendement due à l'enfouissement de compost résulte uniquement de l'augmentation du nombre d'épis fertiles mais non du poids de grains par épi et du poids de 1000 grains; il convient de noter à cet égard qu'il ne s'agit probablement pas d'un effet spécifique "compost" mais d'un effet général "matière organique" (18).

Un effet résiduel très important (plus important que l'effet direct) des enfouissements de compost a été mis en évidence sur mil après deux années de culture d'arachide (environ +1000 kg de grains) (18).

L'explication possible de ce résultat est que l'arachide maintient ou accentue l'état de dégradation des sols dégradés acides et préserve ou augmente la fertilité des sols riches, en raison sans doute d'une fixation faible en sols dégradés acides (l'arachide utilise l'azote du sol.) et relativement plus élevée en sol riche (l'arachide n'épuise pas l'azote du sol, voire même, elle l'enrichit).

En ce qui concerne la fertilité azotée du sol, seuls les traitements avec enfouissement de compost maintiennent le niveau en azote total du sol, (baisse de 25% sur traitements sans enfouissement), sur une durée de cinq années (18).

3- Effet comparatif des enfouissements de paille et de compost sur le coefficient d'utilisation réel de l'engrais azoté et sur l'azote du sol

On a effectué à Bamboey, deux années durant, un enfouissement en sol humide de paille de mil ou de paille compostée, sur une culture continue de mil (mil Souma la première année et mil GAM la deuxième année). Sur le mil de la deuxième année, grâce à l'azote 15, on a pu mesurer le coefficient d'utilisation réel de l'engrais (urée) apporté en cours de cycle à la dose de 90 N.

Les résultats de deuxième année montrent un effet positif de l'enfouissement de paille ou de compost sur la masse végétative constituée par les pailles et rachis + glumes, mais non sur les grains. (Cet effet sur les grains s'expliquerait par la sécheresse intervenue en cours de cycle, en 1977).

Les coefficients d'utilisation réel de l'engrais azote pour la plante entière sont de 19% pour les pailles et 12% pour le grain, ce qui correspond aux valeurs déjà trouvées à Bamboey pour le mil, à savoir qu'environ 30% environ de l'engrais azote (Urée) est utilisé par la plante entière.

L'enfouissement de matière organique n'augmente que légèrement (augmentation non significative) ce coefficient. Il est très probable qu'en l'absence de sécheresse, cette augmentation aurait été marquée, parallèlement à celle du rendement.

En ce qui concerne la fertilité azotée du sol, comparativement avec l'enfouissement de paille ou de compost, une analyse des résultats obtenus par PIÉRI (19) et nous-mêmes laisse entrevoir :

- que la simple restitution des pailles de la céréale ne permet pas le maintien de la fertilité azotée du sol sous culture intensive en sol sableux;
- que cette matière organique devrait être préhumifiée;
- que cette matière organique doit être enfouie à une dose supérieure à la simple restitution des pailles de la rotation, ce qui implique la restitution des autres pailles (arachide notamment) et résidus exportés, qui ne peuvent l'être que sous forme de fumiers ou composts-fumiers.

4- Modalité d'apport du fumier, rendement et bilan azoté

Une expérience a été mise en place pour étudier l'action du fumier et son mode d'apport: en surface ou enfoui, sur le rendement, le bilan de l'azote-engrais et le bilan de l'azote total dans le système sol-plante. Voici, résumés, les résultats de cette expérience (20).

41- Les rendements

L'apport de fumier augmente significativement le rendement grain mais seulement lorsque le sol n'a pas reçu d'engrais azoté (l'engrais azoté atténue l'effet du fumier); le mode d'application du fumier (surface ou enfoui) ne modifie pas significativement les rendements. L'effet de l'engrais azoté (urée) est toujours significativement positif, même associé au fumier, par rapport à l'effet du fumier seul.

Le tableau 1 montre que la fumure azotée seule accroît proportionnellement plus les parties aériennes que les racines; en revanche, conjuguée à l'apport du fumier les racines augmentent proportionnellement plus que les

parties aériennes, phénomène encore accentué si le fumier est enfoui. On voit l'intérêt de cette interaction engrais-fumier pour une plus grande économie de l'eau et de l'azote dans le sol.

Tableau 1: Effet de la fumure azotée (150N) par rapport à la non fumure azotée (ON) pour le sol sans fumier et pour le sol avec fumier (surface ou enfoui), sur les parties aériennes et sur les racines

| | Parties aériennes | Racines * |
|--------------------|-------------------|-----------|
| Sans fumier | + 77% | + 32% |
| Avec fumier épandu | + 57% | +100% |
| Avec fumier enfoui | + 59% | +145% |

42- Bilan azote-engrais

Les coefficients d'utilisation réels de l'engrais azoté par la culture de mil sont conformes à ceux déjà trouvés sur les mêmes sols, qui tournent autour de 30% (cf C3) excepté pour le traitement fumier en surface qui donne un coefficient plus faible, d'environ 20%.

La réorganisation de l'engrais dans les racines est à peu près identique dans tous les traitements (environ 1%); dans le sol, elle varie également assez peu (environ 17%).

Les pertes d'N-engrais sont élevées (environ 50%) surtout pour le traitement fumier en surface où elles atteignent 60%. L'importance de ces pertes est vraisemblablement à l'origine des faibles coefficients d'utilisation observés, principalement dans le traitement fumier en surface.

43- Bilan azote total

Si l'on compare les quantités d'azote présentes dans le sol avant et après la culture (avant la culture, il s'agit du sol "seul" avant la fumure) on observe que les sols sans fumier: avec urée et sans urée, et les sols avec fumier en surface sans urée, ne maintiennent pas le stock d'azote.

Il faudrait donc déconseiller, pour ce type de sol, l'épandage de fumier en surface sans ajout d'engrais azoté. L'engrais azoté, en effet, favorise l'enracinement en profondeur.

44- Dégradation de la matière organique et conséquence sur les pertes d'azote

44.1. Vitesse de dégradation de la matière organique originale et ajoutée

Si l'on prend comme hypothèse simplificatrice une dégradation exponentielle de la matière organique on peut apprécier sa demi-vie:

* racines visibles à la récolte

Soit A_0 la quantité d'azote à l'instant initial

(N sol + N fumier)

A la quantité d'azote à un instant t

(N sol + N racines + N fumier)

t le temps écoulé exprimé en années

La relation: $A = A_0 e^{-kt}$ permet, à partir des valeurs de A et de A_0 de calculer le temps t pour lequel $A = \frac{A_0}{2}$, c'est-à-dire le temps à l'issue duquel le sol aura perdu la moitié de son azote organique.

Ces données (tableau 2 cidessous), même si elles apparaissent comme un peu simplistes, font état d'une dégradation extrêmement rapide du fumier principalement en surface où la période t est la plus courte. Elles mettent en évidence les difficultés qui vont naître des tentatives d'intensification de la production si l'on souhaite maintenir le niveau azoté du sol sous ces climats.

Tableau 2: Demi-vie de la matière organique azotée du sol

| | Sans urée | | | Avec urée (150 N) | | |
|------------|-----------|---------------------|------------------|-------------------|---------------------|-----------------|
| | | + Fumier en surface | + Fumier enfoui | | + Fumier en surface | + Fumier enfoui |
| t (années) | 6,3 | 1,7 | 2,4 ⁵ | 4,6 | 3,0 | 3, |

442. Importance et nature des pertes d'azote

Quels sont les processus qui sont à l'origine des pertes d'azote hors du système sol-plante? Le lessivage est peu important puisqu'il ne représente au maximum que 1% de l'azote-engrais. Les pertes dans l'atmosphère seraient donc prédominantes.

La volatilisation au sein du fumier de surface est généralement une cause importante de pertes d'azote, mais aussi la dénitrification en profondeur. En profondeur on a observé l'enrichissement du sol en carbone lié à un appauvrissement en azote ce qui justifie l'apport de fumier surtout en surface. En effet, la dénitrification peut se produire en profondeur où les trois conditions de son apparition peuvent être réunies :

- augmentation de la teneur en carbone en profondeur (cette augmentation a été observée et mesurée) donc, source d'électrons;
- conditions d'anaérobiose en profondeur;
- présence de nitrates lessivés, peu ou prou, selon l'importance système racinaire (cf 41).

C O N C L U S I O N

Depuis un certain nombre d'années au Sénégal les agronomes ont clairement montré que sans amendement organique les seules fumures minérales étaient insuffisantes pour maintenir la production agricole à un niveau intensif d'où les recommandations concernant les labours d'enfouissement de matière organique.

Cependant, en systèmes extensif et semi-intensif, on a montré que l'amendement organique n'a plus ce caractère obligatoire dans la mesure où fumures minérales ternaires et amendements calciques sont correctement assurés. En revanche l'augmentation du coût de la fumure commande que soient économisés le plus possible les engrais et en particulier l'azote, raison pour laquelle les études relatives au recyclage organique et à la fixation de l'azote atmosphérique sont devenues prioritaires.

Enfin devant les nombreux freins au développement de la technique du labour d'enfouissement et devant la nécessité de recycler dans le sol les résidus de récolte, il nous est apparu nécessaire de recueillir des données en milieu rural pour mieux définir nos choix et mieux situer notre action par rapport à la pratique agricole.

1 - LE LABOUR D'ENFOUISSEMENT : PRINCIPALE CONDITION POUR L'INTENSIFICATION EN ZONE SEMI-ARIDE

L'obtention de rendements élevés possédant une valeur nutritionnelle optimale, sans risque d'appauvrissement de la fertilité du sol, requiert l'apport de matière organique au sol. Le labour, en sol humide en fin de cycle cultural, doit être réalisé pour permettre l'enfouissement des pailles sans risque d'effet dépressif sur la culture suivante.

Le labour est aussi souhaitable (mais non nécessaire) dans le cas du fumier ou du compost afin de réduire les pertes d'azote dans l'atmosphère, importantes lorsqu'on laisse le fumier en surface.

Malheureusement les enfouissements sont encore peu réalisés en raison surtout de l'absence de labour des terres.

2 - PROMOUVOIR LE RECYCLAGE ORGANIQUE EN DEVELOPPANT LA TECHNIQUE DU COMPOSTAGE

Le compostage des résidus organiques 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 est toujours possible, même sans labour, par épandage; en effet l'enfouissement considéré par rapport au simple épandage, n'augmente pas les rendements,* mais il permet de réduire notablement les pertes d'azote. La deuxième raison est

* Cependant l'augmentation du système racinaire en profondeur qui en résulte pourrait, en année sèche, être un facteur de résistance à la sécheresse.

quo cet apport induit toujours une augmentation de rendement. L'agronome quant à lui, voit d'autres avantages dans le développement de cette technique.

- la technique du compostage semble être une des conditions au maintien du statut organique des sols sableux: elle permet le recyclage organique sur la 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 M.S. de paille de mil à 0,75% N, mis à composter, pourront donner, après 5 à 6 mois, 1,5 t M.S. de compost à 2,5% N.

- Dans l'option "compostage méthanogène", même en admettant que nous ne puissions pas bénéficier de l'avantage précédent, à savoir l'absence des pertes d'azote (ceci est à l'étude), il apparaît une plus-value, sans aucun doute incitatrice: le gaz méthane, et un produit fertilisant: le compost.

3 - LES ESSAIS DE VALORISATION DES RÉSIDUS DE RECOLTE DOIVENT PRENDRE EN COMPTE LES DONNÉES DU MILIEU RURAL

Les choix pour être réalistes doivent être fondés sur des données obtenues dans le milieu rural même où l'on doit promouvoir l'intensification. Leur obtention nécessite la réalisation d'enquêtes auprès des ruraux; mais celles-ci se heurtent à des difficultés majeures: la variabilité des données d'un point à un autre et leur estimation quantitative. Néanmoins, après réalisation de plusieurs enquêtes et l'examen de l'ensemble des données, il pourra se dégager certaines tendances dans le mode d'utilisation des résidus de récolte (par exemple la tendance à la commercialisation progressive des pailles du sud vers le nord du bassin arachidier) et des fourchettes dans les quantités effectivement commercialisées, utilisées à des fins domestiques ou restituées au sol.

A cette difficulté d'obtenir des données représentatives s'en ajoute une autre qui est la durée de validité de ces données. En effet le milieu rural se transforme plus ou moins rapidement sous l'action principalement de trois facteurs: un facteur aléatoire: la pluviométrie, et deux facteurs humains interdépendants: la pression démographique et le Développement par l'innovation technique.

Les données issues des enquêtes ont donc: une valeur essentiellement conjoncturelle. La leçon que nous devons en tirer, face à cette variabilité des données est de deux ordres 2

- D'une part, la nécessaire cohérence qui doit exister entre la technique et son cadre d'application. Par exemple, le développement de la technique de compostage méthanogène en milieu villageois doit prendre en compte les motivations des ruraux sur lesquelles reposent les ci-lances de développement, et une estimation de la nature et des quantités de matière organique disponibles qui détermineront la structure du fermenteur.

- D'autre^{part}, le réajustement périodique des thèmes ou des techniques en fonction des données nouvelles du milieu. Par exemple, on assiste depuis quelques années à une utilisation plus rationnelle des pailles de mil et du fumier dans la zone soudano-sahélienne, ce qui diminue l'importance de la fumure par parcage des animaux transhumants et oblige à concevoir d'autres modes de transformation et de restitution de la matière organique (compostage de la poudrette et des résidus organiques en fosse ou dans un fermenteur méthanogène).

BIBLIOGRAPHIE CITEE

- 1- DREVON (J.J.), 1978.
Eléments pour une étude des apports de matière organique aux sols dans le bassin arachidier du Sénégal.
Doc. ronéo. CNRA de Bamboey - Div. Bioch. des sols. 23 p.
- 2- SEZE (O.), 1979.
Enquête sur les disponibilités en matières organiques et leurs modes de restitutions aux sols dans la région du Sine-Saloum.
Doc. ronéo. CNRA de Bamboey - Div. Bioch. des Sols 20 p.
- 3- BERTHEAU (Y.), SEZE (O.), DREVON (J.J.) et GANRY (F.), 1980.
Biogaz au Sénégal. Bilan et perspectives de développement.
II^e Colloque Intern. de Technologie de l'AUPELF.
Lomé, TOGO - 14-20 janvier 1980. 7 p.
- 4- BERTHEAU (Y.), 1980.
Disponibilités en matières organiques en Casamance.
Doc. ronéo. CNRA de Bamboey - Div. Bioch. des Sols (à paraître)
- 5- SEZE (O.), 1973.
Biogaz au Sénégal. Bilan d'un an de fonctionnement.
Doc. ronéo. CNRA de Bamboey. Div. Bioch. des Sols 36 p.
- 6- BERTHEAU (Y.), 1980.
Note sur la construction et l'utilisation du formenteur Zaïrois modifié "ISRA".
Doc. ronéo. CNRA de Bamboey - Div. Bioch. des Sols
- 7- FAYE (A. D.).
Biogaz. Production de méthane par fermentation anaérobie de la biomasse (compostage et production d'énergie)
Rapport de stage ENCR encadré par 3.3. DHEVON
ISRA CNRA de Bamboey - 41 p.
- 8- PLUM (F.), MBARILA (N.), 1979.
Un digesteur à flux continu. Université National du Zaïre,
Centre de Recherches Universitaires du Kivu (CERUKI) n° 3.
- 9- GUEYE (Fatou) et GANRY (F.), 1973.
Etude du compostage des résidus de récolte, de leur valeur agronomique avant et après compostage, et de leur valorisation possible par fixation de N₂.
IFS n° G 123: Programme du 1.07.76 au 1.07.77.
- 10- GANRY (F.), 1975.
Fiche technique de préparation du compost.
Doc. ronéo. CNRA de Bamboey (Sénégal). 2 p.
- 11- GANRY (F.), GUEYE (F.), RINAUDO (G.) et DOMMERGUES (Y.), 1979.
Reduction of nitrogen losses during the composting process by inoculation with Beijerinckia and Enterobacter
Compte-rendu Colloque International HUMUS et PLANTA
BRNO (Tchécoslovaquie) en 1979, pages 327 à 330.

- 12- GANRY (F.), 1979.
Rapport annuel 1978 "Gestion des résidus de récolte"
Doc. ronéo. CNRA de Bambey (Sénégal) 12 pages.
- 13- GANRY (F.), DIEM (H.G.) et DONNERGUES (Y.), 1980,.
Non publié.
- 14- GANRY (F.), ROGER (P.A.), DONNERGUES (Y.), 1978.
A propos de l'enfouissement de paille, dans les sols sableux tropicaux
du Sénégal.
C.R.Acad.Agri.France, séance du 15 mars 1978, pp 445-494.
- 15- FAYE (J.), 1977.
Problématique d'un thème agricole: le labour de fin de cycle avec
enfouissement de pailles dans l'agro-système sahélien.
Séminaire sur les technologies combinées dans l'agro-système sahélien
du 4 au 14 janvier 1977 à Dakar,
- 16- SIBAND (P.) et GANRY (F.), 1976.
Application de l'analyse d'extraits de tissus conducteurs à l'étude
de l'effet d'un compost sur une culture de mil (Pennisetum typhoides)
4^e Colloque International sur le contrôle de l'alimentation des
plantes cultivées - GENT (Belgique) CR.Vol 1 pp.584-593.
- 17- GANRY (F.) et BIDEAU (J.), 1975.
Action de la fertilisation azotée et de l'amendement organique sur
le rendement et la valeur nutritionnelle d'un mil Souma III.
Agron. Trop, vol. XXIX n°10 pp. 1006-1015,
- 18- GANRY (F.)
Non publié.
- 19- PIERI (Ch.), 1979.
La fertilisation potassique du mil Pennisetum et ses effets sur la
fertilité d'un sol sableux du Sénégal.
Doc. ronéo. ISRA-CNRA de Bambey 73 p.
- 20- GANRY (F.), GUIRAUD (G.), 1979.
Mode d'application du fumier et bilan azoté dans un système
mil-sol sableux du Sénégal.
Colloque AIEA Colombo, 7473 - IAEA SM 235/16.