

CN0100981

FG/ID
DOCUMENT N. ^{1983/100}~~200/83~~

Oct. 83

VALORISATION DU RECYCLAGE ORGANIQUE DANS UN OBJECTIF
D'ECONOMIE DES ENGRAIS ET DE MAINTIEN DE LA
FERTILITE DES SOLS AU SENEGAL
Acquis et perspectives

par

F. GANRY - P. L. SARR

Ingenieur de Recherches IRAT detache a l'ISRA
Ingenieur de Recherches ISRA-CNRA Bambey

Ce document constitue une remise à jour de la communication faite au séminaire tenu à Lomé en 1980 et parue dans le bulletin **pédologique** de la F.A.O. n° 47.

S O M M A I R E

	Pages
Introduction	2
A - Enquêtes sur les disponibilités en matière organique.....	3
B - Valorisation des résidus post-récolte.....	4
1 - Compostage anaérobie : compost biogaz.....	4
2 - Compostage aérobie : composte C.I.D.R.....	5
3 - Compostage semi-anaérobie de la paille	6
31 - Indications générales sur la fabrication du compost	5
32 - Réduction des pertes d'azote au cours du processus de compostage.....	6
C - Action des pailles, compost et fumier sur les cultures de mil	7
1 - A propos de l'enfouissement des pailles : le risque de phytotoxicité.....	7
2 - A propos de l'enfouissement de compost - rendement et valeur nutritionnelle ; teneur en azote du sol.....	7
3 - Effet comparatif de l'enfouissement de paille et de compost sur le coefficient d'utilisation réel de l'engrais azote et sur l'azote du sol.....	10
4 - Modalités d'apport du fumier, rendement et bilan azoté	13
Conclusion	15
Bibliographie citée.....	18

I N T R O D U C T I O N

Le recyclage organique en agriculture de la zone tropicale sèche est une des conditions indispensables à réaliser pour l'intensification de cette agriculture et pour le maintien de son patrimoine foncier. Il permet de remédier, en partie du moins, aux 4 principaux fléaux qui menacent cette agriculture : la baisse de fertilité des sols, la recession de la fertilisation minérale (surtout azotée), les stress hydriques des plantes et la déforestation.

?RESERVER LE PATRIMOINE FONCIER

C'est ainsi qu'à l'échelle d'un pays comme le Sénégal, on peut calculer, grossièrement, ce que représentent les déperditions en éléments minéraux, en estimant la production végétale moyenne annuelle à 1.000.000 t d'arachide et 750.000 t de céréales (équivalent mil). En supposant que la situation actuelle est au mieux à mi-restitution, (c'est une supposition optimiste, quand on sait l'ampleur prise ces dernières années par la commercialisation des pailles, notamment des pailles d'arachide), c'est de l'ordre de 200.000 t d'engrais et 25.000 t de chaux qui sont chaque fois prélevés sur le patrimoine foncier.

ATTEINDRE L'AUTOSUFFISANCE ALIMENTAIRE

Le souci d'atteindre l'autosuffisance alimentaire requiert l'accroissement des intrants, dont l'azote et le phosphore. Malheureusement la cherté des engrais azotes et phosphatés entraîne leur recession, donc la baisse des intrants N et P. Cette situation commande donc que soient mis en oeuvre toutes les techniques permettant d'améliorer l'économie de l'azote et de réduire le coût de la fumure phosphatée dans l'exploitation. Une de ces techniques est le recyclage organique des résidus végétaux.

Les difficultés de restitutions directes des résidus végétaux dans les exploitations (échec de la vulgarisation du labour d'enfouissement des pailles), nous ont amenés à étudier la restitution différée, 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 composéage 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 (1)

A partir des données recueillies au cours de trois enquêtes, il nous a été possible d'évaluer les productions totales et les disponibilités en résidus pailleux agricoles dans trois zones climatiques du Sénégal. La production de paille variant de 1 à 3 t/ha suivant la culture et le lieu, se situe à un niveau faible. Dans la partie Nord du bassin arachidier, en particulier, l'utilisation quasi-totale des résidus pailleux, pour l'alimentation du bétail ou l'habitat, rend les disponibilités nulles dans cette zone. Par contre la faible utilisation des résidus pailleux en Casamance permet d'atteindre des disponibilités de l'ordre de 2 à 3 t/ha. La partie Sud du bassin arachidier se trouve dans une situation intermédiaire par rapport aux zones précédentes.

Ces résultats permettent de dégager les options technologiques les mieux appropriées pour le développement du biogaz dans ces trois zones:

- partie Nord du bassin arachidier : petits fermenteurs individuels (3-4 m³) fonctionnant en continu avec un fumier peu pailleux. Usage exclusivement domestique du gaz.

- partie Sud du bassin arachidier : fermenteurs individuels de 8-10 m³ alimentés en continu par du fumier pailleux ou de la paille. Usage domestique du gaz et irrigation de complément sur cultures pluviales.

- Casamance : fermenteurs individuels de 3-10 m³, alimentation en continu par fumier pailleux ou paille en fermenteurs collectifs. Usage domestique ou gaz et irrigation de périmètres maraîchers...

La production maximum de compost peut atteindre en moyenne 2 à 5 tonnes de matière sèche par hectare cultivé par an. Il sera nécessaire d'étudier l'effet à moyen et long terme de tels apports sur la fertilité des sols.

D'autre part, la partie Nord du bassin arachidier est la zone qui présente les potentialités les plus faibles mais c'est aussi la plus menacée. Il est donc essentiel d'y porter un effort important de développement du biogaz dont le but principal ne serait pas l'intensification agricole comme dans les autres zones mais la conservation du milieu naturel (fertilité des sols et capital forestier).

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/ - 11 découle de (a), la nécessité d'envisager en station au moins 2 niveaux d'intensification : 1 'un correspondant à la pratique agricole et 1 '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 1 'intensification).

B - VALORISATION DES RESIDUS POST-RECOLTE

1 - Le comp. estage anaérobie : compost: "biogaz" (2, 3, 4, 5)

Le compostage anaérobie est 1 'une des voies possibles de valorisation des résidus post-récol te.

Après une expérience limitée en laboratoire qui a permis de tester quelques potentialités de fermentation méthanogène d'un fumier de ferme (5), une autre étude in si tu 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 35 % pour le mil. et 16 % pour l'arachide (en effet direct en présence d'une fumure minérale) ;

- 1 '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 (6) visent à répondre aux exigences suivantes :

- volume en rapport avec les disponibilités en résidus organiques en milieu rural au Nord de l'isohyète 800 mm ;

- possibilité dz préfermentation aérobie ;

- utilisation de déchets organiques grossiers (coque d'arachide, paille sectionnée) ;

ce fermenteur s 'est avéré jusqu'à présent très fiable et d'une maintenance des plus aisées en milieu rural.

Expérimenté chez un agriculteur, il a pu couvrir partiellement les besoins en gaz du carré comportant 20 personnes. Le compost issu du fermenteur, expérimenté dans les parcelles de 1 'exploitation familiale a permis des augmentations de rendements du mil significatives (+ 22 % sur les épis) ; en revanche, la poudrette utilisée dans le fermenteur - et qui constitue le "fumier" en milieu rural - n'a pas permis, en ef fat. direct, d ' augmenter significativement les rendements (7).

L' expérimentation actuelle de ce fermenteur "ISRA" vise à connaître les problèmes posés lors de son utilisation par les agriculteurs et sa couverture énergétique maximum.

Un projet national a été mis en oeuvre : élaboré pour l'ensemble du Sénégal, il s'appuie sur les enquêtes passées ou en cours qui permettent de tenir compte des spécificités des principales zones écologiques (notamment type et quantités de matériaux fermentescibles, utilisation). Les installations visent d'une part des structures adaptées aux disponibilités en résidus de récoltes au niveau des exploitations paysannes et d'autre part des structures intégrées (incluant par exemple maraîchage, culture d'algues dans les bassins de décantation). Ces structures doivent être suivies par des équipes pluridisciplinaires mises en place (notamment Agronomes, Algologues, Socio-économistes). Actuellement une ferme* intégrée "agriculture - élevage - culture maraîchère" est en cours de réalisation. Pour la première fois au Sénégal l'irrigation et le recyclage organique seront possibles grâce à la fermentation méthanogène.

2 - Le compostage aérobie : compost CIDR (8, 9)

Le compostage 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, brisures 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 y

* 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 Bambey : sol relativement riche, sécheresse) ; en revanche, les coques compostées se décomposent plus vite dans le sol, que les coques fraîches. En culture maraîchère, les composts de balle de riz et de coque d'arachide entraînent des plus-values de production de tomate très intéressantes (9).

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 accumulant des stocks de résidus végétaux où le recyclage de ces résidus organiques dans les champs de production végétale permettrait l'apport d'intrants à bon marché (Compagnie sucrière ; entreprise rizicole ; entreprise de culture maraîchère associée à une décortiquerie), dans ce dernier cas, un système d'irrigation est nécessaire pour le recyclage des effluents.

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 Bambey, 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 :

* Projet Biogaz IRAT-ISRA mis en oeuvre au CNRA de Bambey

** CIDR : Centre International de Développement et de Recherche -- 55

- le compostage peut se faire, ou en moule sous film plastique, ou en fosse (préférable) ;

- le résidu doit être hâché avant chargement de la fosse ou de la moule (des hâchoirs de paille mécanique - manuels ou avec moteur à essence ou biogaz - sont fabriqués par la SISMAR au Sénégal) ;

- le tas ne doit pas être de trop petites dimensions, une hauteur acceptable semble être de 2 m à 2,5 m après chargement, mais moindre (1,5 à 2 m) 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 ;

- un résidu plus ou moins ligneux pourra être composté à condition de le mélanger à une paille fermentescible ;

- effectuer au moins un recoupage (brassage) en cours de fermentation, surtout si 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 mettaient généralement en évidence des pertes qui sont de l'ordre de 45 % pour la matière sèche et de 20 % pour l'azote (8).

Mais ces bilans réalisés globalement étaient approximatifs ; il importait de les préciser, et par ailleurs, de rechercher les moyens de diminuer les pertes d'azote :

- par certaines techniques chimiques comme le phosphate par le phosphoate monocalcique (super-simple ou super-triple) ;

- en explorant la voie de la fixation libre de l'azote de l'air (N_2) en vue de réduire ces pertes et d'apporter un gain d'azote dans la compostière.

A travers cinq expériences in situ à Bamby, réalisées de 1976 à 1981, nous avons pu dégager 2 résultats : le premier concernant l'enrichissement du compost en azote et le deuxième l'économie de l'eau :

- 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 4 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 .

- le compost obtenu en semi-anaérobiose en fosse, démarré en saison des pluies, peut conserver une humidité suffisante à sa biodégradation pendant les 6 ou 7 mois de saison sèche sans avoir recours à l'arrosage. Ce résultat est important en zone sahélienne où l'approvisionnement en eau est souvent difficile.

c - ACTION DES PAILLES, COMPOST ET FUMIER SUR LES CULTURES

1 - A propos de l'enfouissement des pailles : le risque de phytotoxicité (11)

L'application de la technique d'enfouissement de paille par les paysans se heurte à de nombreux obstacles d'ordre sociologique et agronomique (12). 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 particulièrement 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 (11).

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

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

Dans une première phase, nos recherches ont porté sur l'étude des fortes doses de compost ou de fumier à Bambeï et à Thilmakha, en culture semi-intensive mil-arwhite, afin de mieux comprendre les mécanismes d'action et le rôle spécifique. Dans une deuxième phase, en cours, nos études visent la mise au point des systèmes culturaux compatibles d'une part avec les disponibilités en matière organique dans les exploitations ci, d'autre part avec le minimum d'intrants (essais courbes de réponse à la matière organique).

2.1 - Dans la zone Centre Nord (isohyète 400-600 mm).

Dans cette zone les études ont démarré en 1972. De 1972 à 1980, les résultats obtenus à Bambeï et à Thilmakha ont permis de tirer des enseignements intéressants que nous résumerons en 4 points.

- Le compost stimule la fourniture de nitrates dans le sol et la prolonge (13). Cet effet expliquera l'augmentation de rendement du mil (+ 300 kg/ha/an de grains en moyenne sur 4 années), de la teneur en protéines et de la valeur nutritionnelle (14). 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 Cpi. 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".

- 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) (Ganry, non publié). 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 de N₂ 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 le maintien de la productivité et de la fertilité nous distinguerons les sols dégradés et les sols régénérés venant après longue jachère. En sols dégradés et en voie de dégradation à Thilmakh, ce qui atteste l'importance grandissante prise par la chlorose azotée (taches jaunes) de l'arachide - sols représentatifs de la majorité des sols de la zone centre nord - nous avons mis en place une expérimentation pérenne (1972-1980) dans le but de tester les techniques aptes à régénérer les sols ou, tout au moins, à maintenir la productivité. Les résultats ont été très nets : seules les parcelles ayant reçu, en plus de la fertilisation minérale forte et du chaulage, 10 t de fumier tous les 2 ans sur l'arachide, ont montré une régénération du sol et une augmentation de la productivité, même en année sèche, alors que la dégradation et la baisse de productivité des parcelles recevant seulement la fertilisation minérale et le chaulage s'est accentuée, leur faible productivité se manifestant particulièrement en année sèche (15). En sol régénéré à Bamboey, ayant une teneur en N de 0,023 %, on a pu observer sous culture intensive de mil sur une période de 5 ans (1972 - 1976), que seuls les traitements avec enfouissement annuel de compost à fortes doses (10 t M.S./ha) ont maintenu le niveau en azote total du sol (baisse de 25 % pendant 4 ans puis tendance à la stabilisation, sur traitement sans enfouissement). Ce résultat montre que sous culture semi-intensive ou intensive, il serait irréaliste de vouloir maintenir une teneur en azote - donc en matière organique - du sol au niveau enregistré après régénération par la jachère, en raison de l'impossibilité d'appliquer de telles doses en milieu rural. On devra donc admettre une baisse de cette teneur en azote du sol jusqu'à une certaine limite, fonction du type de sol et des techniques culturales. En revanche, il sera impératif de veiller au maintien du stock d'azote du sol, entretenu par le recyclage organique.

Nouvelles orientations

Nous avons montré la nécessité d'apporter de la matière organique au sol pour maintenir la productivité végétale, notamment empêcher le chlorose azotée sur arachide, assurer une sécurité de production vivrière et arachidière en année sèche et maintenir le stock d'azote du sol. Il reste à déterminer à partir de quelle dose raisonnable de matière organique, la chlorose est supprimée et la productivité et le stock d'azote du sol maintenus.

Les premiers résultats obtenus sur l'essai "faibles doses de matière organique" (apports annuels de fumier en culture semi-intensive) à Thilmakha dans la zone Centre-Nord ont montré (16) :

- que le mil répondait à une application directe du fumier. En effet les tests statistiques sur le poids des épis et des grains montrent que les traitements 1 t/ha et 3 t/ha étaient significativement différents du témoin (et du traitement 2 t/ha ?) avec respectivement des plus-values de 200 kg/ha (+ 20 %) et 340 kg/ha (+ 35 %) par rapport au témoin (campagne 81). Malheureusement ces résultats n'ont pu être confirmés en 1982 suite à une forte attaque de chenilles.

- sur arachide en effet direct) les résultats obtenus en 1981 tant sur le poids des gousses que sur celui des fanes ne font pas ressortir l'effet des doses de fumier de façon significative.

Les résultats de 1982 qui expriment donc l'effet cumulatif des apports de fumier, mettent en évidence un effet très hautement significatif du fumier sur le poids des gousses + fanes et un effet significatif sur le poids des gousses seules.

La faible réponse des cultures à la dose 2 t/ha de fumier, observée en 1981 sur mil (effet direct) et 1982 sur arachide (effet cumulatif) demeure inexplicable.

22 - Zone Centre-Sud (isohyètes 700-900 mm)

Comme pour la zone Centre nord, dans la zone Centre sud nous étudions en première phase, l'effet de l'enfouissement du fumier à une seule dose (2,5 t M.S/ha). L'objectif de ces essais, appelés "systèmes de culture", est d'étudier la valorisation possible des apports de fumier par le travail du sol dans 2 systèmes de culture intensifs différents : l'un à Thyssé, en rotation maïs-arachide avec apport annuel de fumier, l'autre à Sinthiou, en rotation maïs-cotonnier, avec apport bis annuel de fumier sur maïs (16)

A Thyssi, les résultats de rendement sur 4 années de culture (1978-1982) mettent en évidence un effet positif du fumier et un effet sur érieur du labour par rapport au travail du sol à la dent, cet effet "labour" étant nettement marqué sur les parcelles recevant le fumier :

	<u>Labour</u>	<u>Dents</u>
Maïs graine (kg/ha)	3.420	2.190
Arachide (kg/ha)	3.450	3.000

A Sinthiou, les résultats de 2 années de culture (1980-1982) ne mettent pas en évidence d'effet direct significatif de l'apport de fumier et du type de travail du sol, par contre l'arrière-effet de l'apport de fumier est significatif aussi bien sur le poids des tiges que des fibres du cotonnier (+ 200 kg/ha en moyenne).

L'absence de réponse du maïs au fumier, à Sinthiou est apparemment surprenante ; elle pourrait être attribuée au fait que l'un seul apport de fumier a été réalisé : l'effet cumulatif, vraisemblablement positif comme à Thyssé, n'a pu encore se manifester.

Nouvelles orientations

Il est prévu, en 1984, la mise en place d'essais "doses matière organique" dans ces 2 localités.

23 - Dans la zone Casamance (isohyètes 1000 - 1300 mm)

- fumure organique du soja (fig. 1, 2 et 3)

Dans un système culturel soja-maïs en conditions de culture semi-intensives, on étudie la réponse d'une culture de soja à la fumure organique constituée d'un compost de paille de maïs et l'arrière-effet de cette fumure organique sur la culture de maïs. Le compost est fabriqué en fosse pendant la saison sèche (17).

. Effet direct sur soja

Les résultats de 1982 confirment la réponse positive significative du soja à des doses croissantes de compost déjà mise en évidence en 1980 et 1981 : les rendements en grain passent de 21 à 27 q/ha pour des doses allant de 0 à 6 t/ha. Nous voyons sur la fig. 1 que seule la pente est significative. La courbure et les écarts ne le sont pas. Nous en déduisons que l'hypothèse d'une droite peut être admise entre 0 et 6 t M.S./ha :

$$Y = 11,0 x + 1795^* \quad r = 0,60 \text{ (H.S. à } P \text{ 0.01)} \quad \text{(courbe 2)}$$

En 1980, nous avons le même type de réponse.

$$Y = 9,9 x + 2010 \quad r = 0,83 \text{ (H.S. à } P \text{ 0.01)} \quad \text{(courbe 1)}$$

. Arrière-effet sur maïs

Sur le rendement du maïs, on note un arrière-effet très important de la fumure organique du soja, ce qu'illustre la fig. 2. Les rendements en grain du maïs passent de 1360 kg/ha (sans compost) à 3420 kg/ha (6 t M.S./ha de compost apporté au soja). La représentation graphique met en évidence un maximum correspondant à la dose de compost de 7,7 t M.S./ha ; cependant les écarts étant significatifs, l'hypothèse de la fonction de production parabolique ne peut être retenue. En 1981, sur un essai identique à celui-ci (maïs décalé d'un an en ce qui concerne la culture) un arrière-effet également important avait été observé (fig. 3, courbe 2) . En absence d'engrais azoté la réponse du maïs était linéaire et croissante (fig. 3, courbe 3) :

$$Y = 23,1 X + 500^* \quad r = 0,83 \text{ (H.S. à } F \text{ 0.01)}$$

Notons que sur soja la dose limite correspondant au rendement maximum se situe entre 6 et 9 t M.S./ha de compost ; elle serait de l'ordre de 7,5 t M.S./ha donc proche de celle mise en évidence sur maïs (rappelons que la valeur de cette dose n'a pu être calculée statistiquement mais qu'elle ressort des résultats expérimentaux représentés graphiquement).

3 - Effet comparatif de l'enfouissement de paille et de compost

31 - Dans la zone Centre-Nord (isohyètes 400 - 700 mm)

On a effectué à Bambey en 1977, un enfouissement en sol humide, de paille de mil ou de paille compostée, sur une culture de mil (mil GAM) . Par recours à l'azote 15, on a pu mesurer le coefficient d'utilisation réel de l'azote engrais (urée) apporté à la dose de 90 N selon la technique de fertilisation vulgarisée.

* y en kg M.S./ha et X en q M.S./ha.

FONCTION DE PRODUCTION

ESSAI DOSE N. O. N 1 SEFA 1980 - 1982

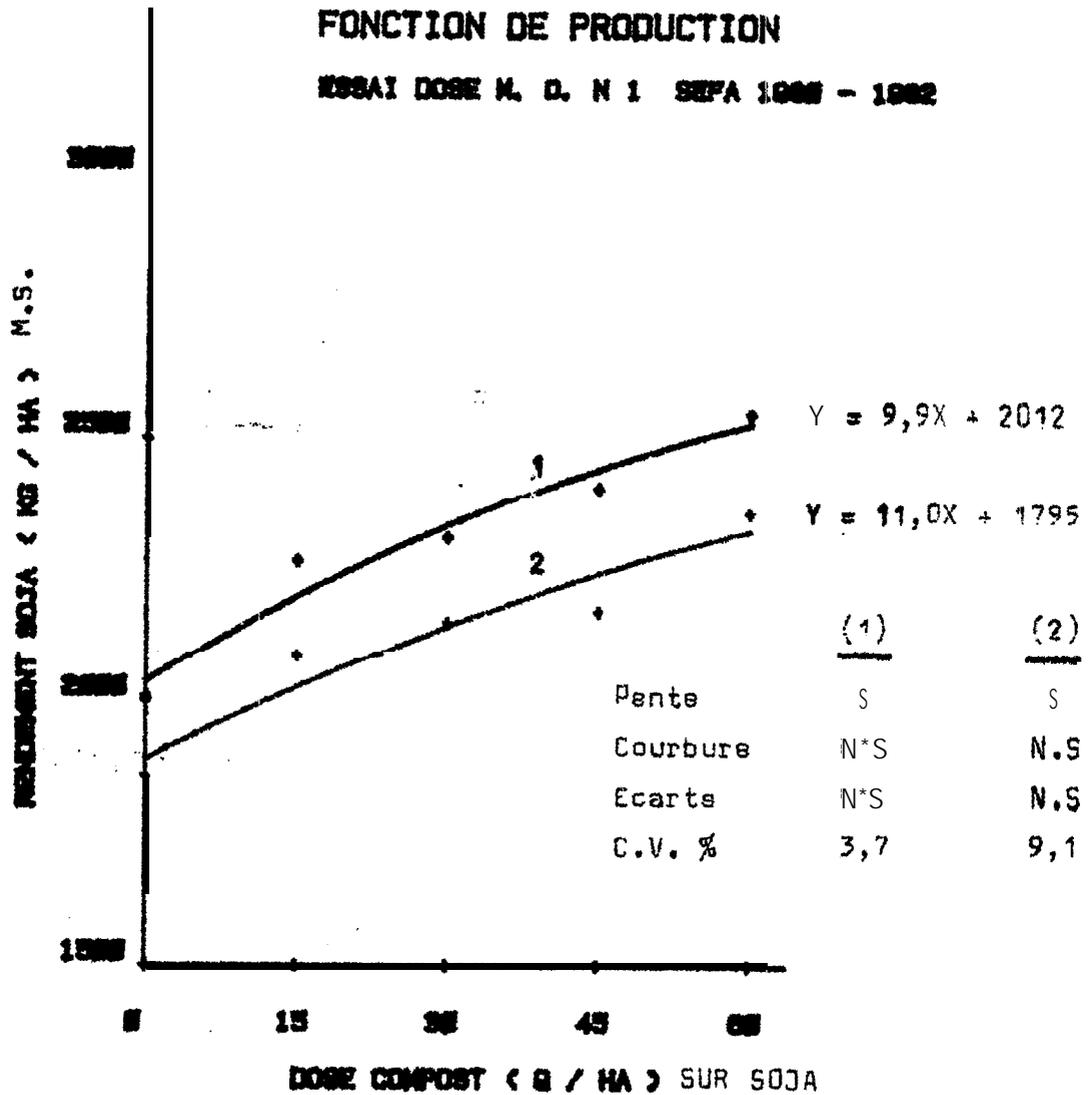


Fig. 1 - Réponse du soja à l'enfouissement de compost à doses croissantes.

Courbe (1) soja cultivé en 1980 ; courbe (2) soja cultivé sur les mêmes parcelles en 1982.

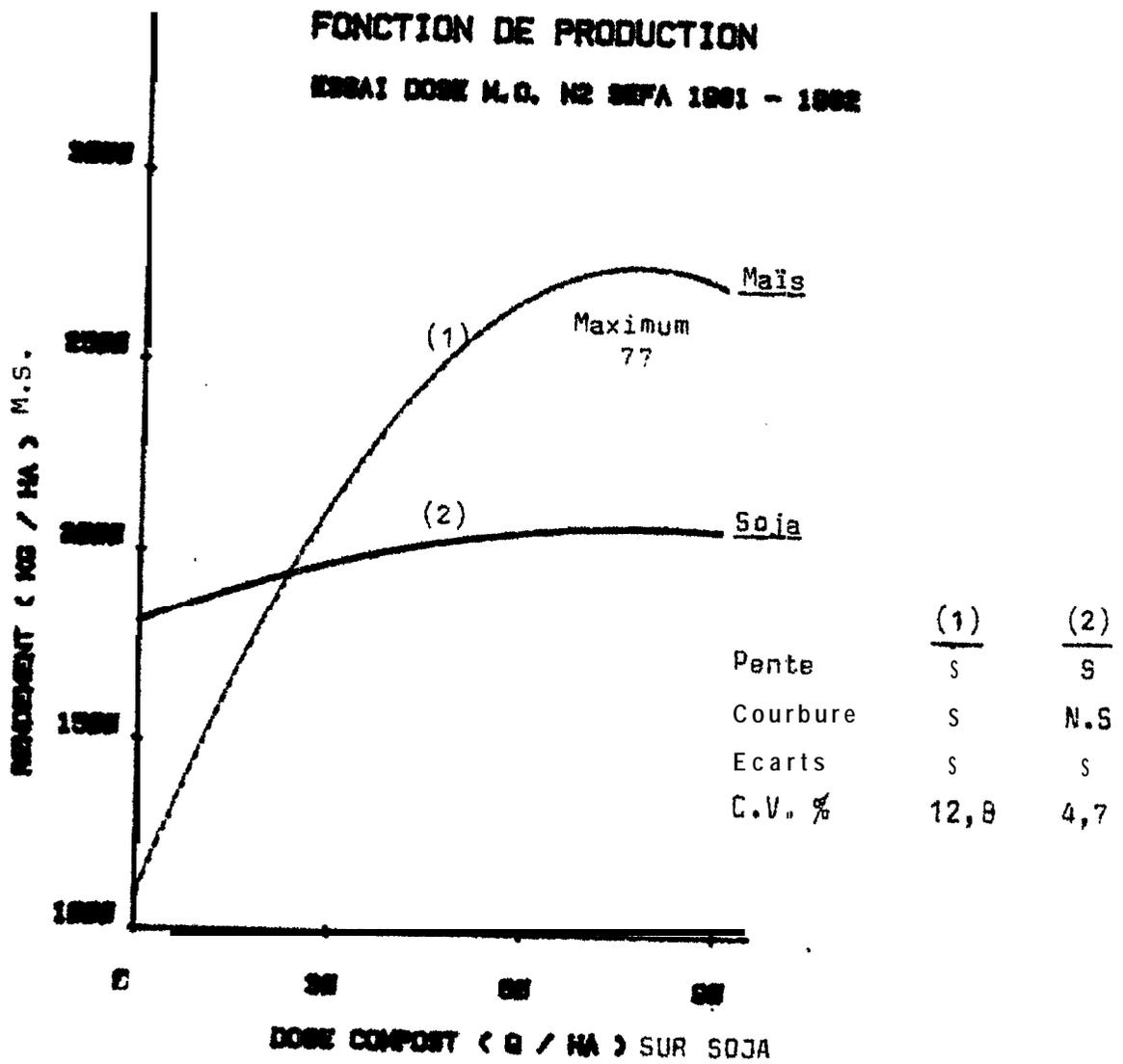


Fig. 2 - Effet direct sur soja et arrière-effet sur maïs de l'enfouissement de compost.

FONCTION DE PRODUCTION

ESSAI DOSE M.O. N1 SEFA 1980 - 1981

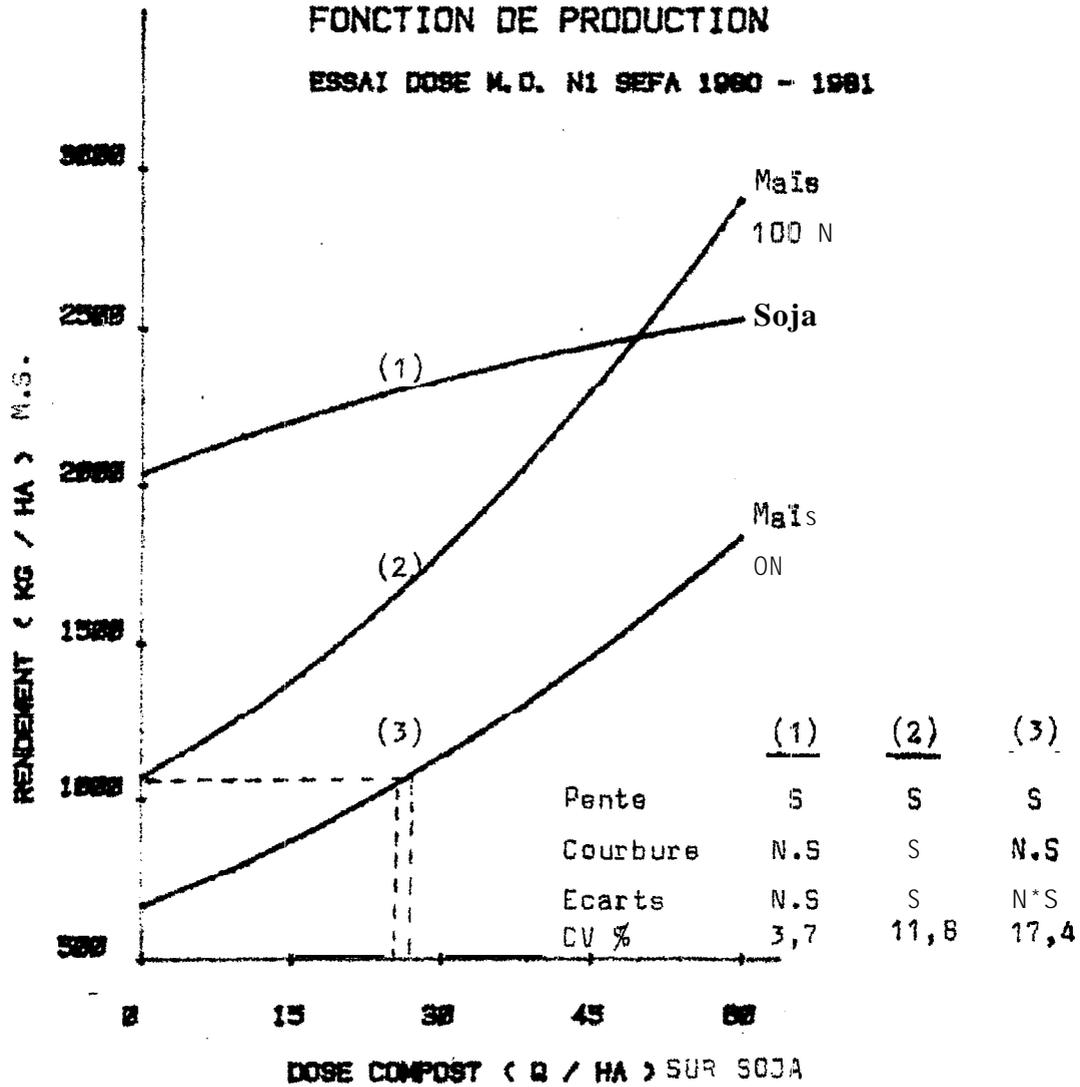


Fig. 3 - Effet direct sur soja et arrière-effet sur maïs de l'enfouissement de compost.

et/ Les résultats montrent un effet positif de l'enfouissement de paille/de compost sur la masse végétative constituée par les pailles et rachis + glumes, mais non sur les grains. Cette absence d'effet sur les grains s'explique par un échaudage dû à la sécheresse intervenue en cours de cycle de 1977.

Les coefficients d'utilisation réel de l'engrais azoté pour la plante entière sont de 19 % pour les pailles et 12 % pour les grains, ce qui correspond aux valeurs déjà trouvées à Bamboey pour le mil, à savoir que 30 % environ de l'engrais azoté (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 absence d'échaudage, cette augmentation aurait été marquée, parallèlement à celle du rendement.

En ce qui concerne la fertilité azotée du sol sous culture intensive comparativement avec enfouissement de paille ou de compost, une analyse des résultats obtenus par Pieri (18) et nous-mêmes indique :

- 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, possible seulement sous forme de fumiers ou composts-fumiers.

32 - Dans la zone Centre-Sud

Tas de résultats disponibles.

33 - Dans la zone Sud (Casamance) (isohyètes 1000 - 1300 mm)

Culture céréalière et forme de restitution de la paille sur la culture de soja

Dans un système cultural céréales-soja en conditions de culture semi-intensive, on étudie 3 céréales : mil, maïs et riz pluvial, et la restitution de la paille de ces céréales, sous forme brute ou sous forme compostée. La paille est enfouie par un labour de début de cycle (17).

Les résultats du tableau 1 mettent en évidence d'une part un arrière effet important de la restitution des pailles de céréales sur le rendement de ces céréales et d'autre part la plus forte production en grain du riz pluvial (environ 26 q/ha) comparativement au maïs (environ 17 q/ha) et au mil (environ 13 q/ha). La forme compostée avait induit, en effet direct sur soja, un accroissement de rendement du soja supérieur à la forme brute (non compostée). En revanche, en arrière-effet sur céréale, c'est la forme brute qui s'avère supérieure. L'accroissement de rendement dû à la restitution des pailles est plus important pour le maïs soit environ + 750 kg/ha de grain ; le facteur "compostage" est donc secondaire par rapport au facteur "restitution".

Tableau 1 : Rendement en grain kg M.S./ha de 3 céréales avec mise en évidence de l'arrière-effet sur ce rendement de la restitution de leur paille sur le soja de la rotation.

Traitements principaux	Sous-traitements		
	0	Paille	Paille compostée
Mil	979	1318	1170
Maïs	1100	1735	1651
Riz	2007	2500	2350
C.V. Traitements principaux		31,3 %	
C.V. Sous-traitements		7,3 %	
P.P.D.S. entre 2 sous-traitements "restitution organique" au niveau d'un même traitement "culture"			= 102,5

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 (19).

4.1 - 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 et-ténue 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 2 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 2 † Effet de la fumure azotée (150 N) par rapport à la non fumure (ON) dans le sol sans fumier et dans le sol avec fumier (surface ou enfoui), sur les parties aériennes et sur les racines.

	<u>Parties aériennes</u>	<u>Racines*</u>
Sans fumier	+ 77 %	+ 32 %
Avec fumier épandu	+ 57 %	+ 100 %
Avec fumier enfoui	+ 59 %	+ 145 %

* racines visibles à la récolte.

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'N-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 conservent pas leur 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

141 - Vitesse de dégradation de la matière organique originaire et ajoutée

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

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 : $A = A_0 e^{-\lambda t}$ 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 3 ci-dessous), 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.

* racines vivantes à l'instant t

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	2,5	4,6
				3,0
				3,5

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 d'azote gazeux dans l'atmosphère seraient donc prédominantes.

CONCLUSION

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 on milieu rural pour mieux définir nos choix et mieux situer notre action par rapport à la pratique agricole.

- 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.

- Promouvoir le recyclage organique en développant 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 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 :

- 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. 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 sol \Leftrightarrow 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 2,3 % 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 incertaine : le gaz méthane, et un produit fertilisant : le compost.

- Les essais de valorisation des résidus de récolte 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 deux 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.

* dans le cas de la paille broyée.

h 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 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 :

- 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 chances 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 - Allard (J.L.), Bertheau (Y.), Drevon (J.J.), Sèze (G.) et Ganry (F.) -1983
Ressources en résidus de récolte et potentialités pour le biogaz au Sénégal.
Agron. Trop. (sous presse).
- 2 - Bertheau (Y.), Sèze (G.), 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 1981 - 7 p.
- 3 - Sèze (G.) - 1979
Biogaz au Sénégal. Bilan d'un an de fonctionnement.
Doc. ronéo. CNRA de Bambey. Div. Bioch. des sols - 36 p.
- 4 - Bertheau (Y.) - 1980
Note sur la construction et l'utilisation du fermenteur zaïrois modifié "ISRA".
Doc. ronéo. CNRA de Bambey - Div. Bioch. des Sois.
- 5 - Faye (A.D.) , 1978
Biogaz. Production de méthane par fermentation anaérobie de la biomasse (compostage et production d'énergie)
Rapport de stage ENCR encadré par J.J. Drevon.
ISRA - CNRA de Bambey - 41 p.
- 6 - Plum (F.), Mbarila (N.) - 1979
Un digesteur à flux continu. Université Nationale du Zaïre.
Centre de Recherches Universitaires du Kivu (CERUKI) n°3.
- 7 - Allard (J.L.), Bertheau (Y.) et Ganry (F.) - 1981
Essais de compostage méthanogène en milieu villageois au Sénégal.
IV^eme conférence annuelle de l'A.A.A.S.A. Le Caire 23-30 Octobre 1981.
Doc. ronéo ISRA/CNRA Bambey - 9 p.
- 8 - Guèye (Fatou) et Ganry (F.) - 1978
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 128 : Programme du 1.07.76 au 1.07.77.
- 9 - Sarr (P.L.) et Ganry (F.) - 1983.
Etude de l'effet direct sur culture maraîchère (tomate var. Rossol) et de l'arrière-effet sur une culture pluviale (Mil - var. Souna II) d'un apport de composts aérobie.
Doc. ronéo. ISRA Bambey 13 p.
Agron. Trop. (à paraître). Agron. Trop. (à paraître)

- 10 - Ganry (F.) - 1975
Fiche technique de préparation du compost.
Doc. ronéo. CNRA de Bambey (Sénégal). 2 p.
- 11 - Ganry (F.), Roger (P.A.), Dommergues (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.
- 12 - 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.
- 13 - 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)
4e colloque international sur le contrôle de l'alimentation des plantes cultivées - GENT (Belgique) CR. Vol 1 pp. 584-593.
- 14 - 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 Souna III.
Agron. Trop. XXIX n°10 pp. 1006-1015.
- 15 - Wey (J.), 1981
La fixation biologique de N₂ pour la symbiose rhizobium-légumineuse
Synthèse des résultats de la campagne 80.
Doc - Ronéo - ISRA/CNRA Bambey (Sénégal) - 9 p.
- 16 - Sarr (P.L.), 1983
Résultats des essais "courbe de réponse à des doses croissantes de fumier" Thilmakha, et "système de culture" à Thyssé-Kaymor et Sinthiou-Malème
Collection - Etudes techniques du CNRA n° 27-83 - 7 pages.
- 17 - Ganry (F.), 1983
Economie des engrais N et P dans les systèmes culturaux semi-intensifs céréales-soja. Analyses des premiers effets du phosphate naturel et de l'action conjuguée de l'inoculation et de la fumure organique.
Doc. - Ronéo - ISRA-CNRA Bambey (Sénégal).
- 18 - 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.

19 - Garry (F.), Guiraud (G.) - 1979

Mode d'application du fumier et bilan azoté dans un système mil-
sol sableux du Sénégal.

Colloque AIEA Colombo, 1979 - IAEA SM. 235/16.