

000167
SF 1UR 155



FERTILISATION, PRODUCTION ET GESTION DU MILIEU
EN ZONE TROPICALE SECHE

Communication présentée

par

F. GANRY et P. SIBAND

Ingénieurs de Recherche à l'IRAT/Sénégal

à l'occasion du Séminaire régional FAO/DANIDA sur :
La planification et l'organisation du développement de
l'emploi des engrais.

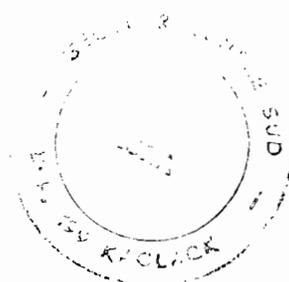
DAKAR, 9-21 Septembre 1974

Septembre 1974

Centre National de la Recherche Agronomique
de BAMBEY

INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES TROPICALES ET DES CULTURES VIVRIERES
(I. R. A. T.)

P L A N



INTRODUCTION

- 1 - APPROCHE DE LA FERTILISATION DES CULTURES AU SENEGAL
 - 11- Principaux éléments minéraux
 - 12- La détermination de la fumure des différentes cultures
- 2 - POUR UNE CONCEPTION DE LA FERTILISATION DANS UN CADRE PLUS LARGE
 - 21- Effets d'une fertilisation mal conduite
 - 22- Le véritable impact économique de la fertilisation
 - 23- Fertilisation et qualité des récoltes
 - 24- Conclusion
- 3 - DANS CE CADRE COMMENT RAISONNER L'ECONOMIE D'UNE FERTILISATION QUI RESTE ONEREUSE
 - 31- Techniques s'appliquant à l'ensemble des éléments
 311. Placement de l'engrais
 312. L'enfouissement des résidus de récolte
 313. Date de semis
 - 32- Techniques s'appliquant plus spécifiquement à l'azote
 321. Les facteurs qui peuvent augmenter sensiblement l'efficacité de l'engrais minéral azoté sur céréales
 322. Les engrais à ammonification progressive
 323. La fixation biologique de l'azote de l'air

- C O N C L U S I O N

INTRODUCTION

La progression démographique fait de l'élévation de la production agricole, dans les pays africains, un impératif absolu. L'amélioration du niveau de vie suppose un accroissement de la production par agriculteur.

Ceci ne peut se faire que par deux voies complémentaires :

- l'extension des surfaces cultivées au détriment des jachères;
- et l'amélioration conséquente des rendements culturaux et des matières exportées.

L'une et l'autre voies se soldent par une perte importante en éléments minéraux des surfaces cultivées: la suppression de la jachère longue élimine les remontées minérales des racines profondes. Or les pertes par drainage sont élevées.

A Bambey, en cases lysimétriques, on enregistre les pertes annuelles suivantes (23) :

N	=	5 à 30	kg/ha
P205	=	0,1 à 0,5	"
S	=	3 à 30	"
CaO	=	40 à 150	"
MgO	=	15 à 40	"
K2O	=	10 à 20	"

D'un autre côté, les mobilisations de la plante, les exportations de la partie utile croissent avec les rendements. Ainsi, pour les principales cultures de notre zone et, pour 1000 kg de produits utiles, on peut estimer comme suit les besoins minéraux et les pertes par exportations (23) :

C u l t u r e	Mobilisations totales				Exportations minérales			
	N	P205	K2O	CaO	N	P205	K2O	CaO
Arachide (1 t gousses)	51	10	20	11	35	6	8	1
Mil (1 t grains)	41	20	25	25	19	10	11	3
Sorgho (1 t grains)	34	7	17	14	22	5	5	2
Mais (1 t grains)	26	12	21	3	19	10	12	-
Riz pluvial (1 t paddy)	24	12	34	10	13	7	4	1
Cotonnier (1 t coton graines)	48	17	32	12	20	8	8	8

Les pertes minérales occasionnées par ces seules exportations sont considérables.

On peut calculer grossièrement sur l'ensemble du Sénégal, ce que représentent les déperditions en éléments minéraux, en estimant la production végétale moyenne annuelle à 1.000.000 t d'arachides et 750.000 t de céréales (22).

Éléments minéraux	Mobilisés ou exportés si pas restitution (t)	soit, en engrais (t)	Exportés nets si restitution des "pailles" (t)	soit, en engrais
Azote	30 750*	150 000 de sulfate d'ammoniaque	14 250*	70 000 de sulfate d'ammoniaque
acide phosphorique	25 000	60 000 de phosphate	13 500	30 000 de phosphate
Potasse	38 750	65 000 de chlorure de potassium	16 250	60 000 de chlorure de potassium
Total		275 000 t d'engrais		160 000 t d'engrais
Chaux	26 750	45 000 t de chaux agric.	3 250	5 000 t de chaux agricole

* Arachide non comprise (azote fixé symbiotiquement)
 ** La restitution pouvant emprunter le circuit d'alimentation du bétail fumier, encore que les pertes n'en soient alors pas comptabilisées.

En supposant que la situation actuelle est, au mieux, à mi-restitution c'est de l'ordre de deux cent mille tonnes d'engrais et 25.000 tonnes de chaux qui sont, chaque année, prélevés du patrimoine foncier national, dont 50 000 t seulement sont restituées sous forme d'engrais, soit une dégradation annuelle nette équivalent à 150 000 t d'engrais, représentant une valeur de l'ordre de 5 milliards de francs CFA (évaluée à 30 francs CFA le kg d'engrais, ce qui est déjà probablement inférieur à la moitié du cours mondial).

Le maintien du statut minéral du sol pour l'alimentation des cultures à venir implique donc obligatoirement l'utilisation d'engrais.

Par ailleurs, l'augmentation de productivité d'une culture suscite une demande minérale instantanée élevée, alors que la mise à la disposition à la culture des éléments minéraux par le sol est très progressive. De ce fait, on peut considérer qu'il n'y a pas de production élevée sans engrais.

Le tableau suivant montre le plafonnement des rendements obtenus avec de bonnes techniques culturales, mais sans engrais, et les plus-values dues à la fumure (18).

Culture	Arachide 28-206	Cotonnier BJA	Sorgho 51-69	Maïs BDS. Région	Mil Sanic. Rég.
	Région Sine-Saloum. Moyenne pondérée sur 4 ans (16 résultats)	Rég. Sénégal. Moyenne pondérée sur 3 ans (15 résultats)	Rég. S. Oriental. Moyenne pondérée sur 5 ans (12 résultats)	Casamance. Moyenne pondérée sur 4 ans (6 résultats)	Casamance. Moyenne pondérée sur 4 ans (6 résultats)
Fumure					
Sans fumure	1254 kg/ha	700 kg/ha	939 kg/ha	595 kg/ha	1061 kg/ha
Fumure légère	+ 249 kg/ha	+ 471 kg/ha	+ 846 kg/ha	+ 1544 kg/ha	+ 722 kg/ha
Fumure forte	+ 354 kg/ha	+ 878 kg/ha	+ 1389 kg/ha	+ 2416 kg/ha	+ 1334 kg/ha

Ainsi le principe de l'utilisation de l'engrais pour l'amélioration de la production agricole apparaît un fait acquis, et c'est plutôt sur sa bonne utilisation qu'il convient de s'interroger.

En fait, l'engrais est coûteux et il faut l'économiser, c'est-à-dire éviter les pertes, favoriser son utilisation et son efficacité.

De plus, son utilisation mal comprise peut être plus maléfique que bénéfique et la fertilisation doit se concevoir dans le cadre du système de culture et de la gestion du milieu.

Après avoir rappelé les éléments qui permettent de raisonner la fertilisation, nous tâcherons de voir dans quel contexte la placer et ce qu'il faut entendre par économie d'engrais.

1 - APPROCHE DE LA FERTILISATION DES CULTURES AU SENEGAL

La mise au point d'une fertilisation adaptée à un système de culture intensif passe par les étapes suivantes :

- détection et classement des carences minérales du sol.
- détermination des fumures de correction ou de redressement permettant de corriger ces carences et d'atteindre le potentiel de production.
- détermination des fumures d'entretien permettant de compenser les exportations par les plantes et les pertes par drainage et volatilisation, de façon à maintenir intacte la richesse chimique du sol, tout en assurant de hauts niveaux de production.

C'est ce programme qui a été suivi par l'IRAT/Sénégal pour les principaux éléments entrant dans la nutrition minérale des cultures.

Le comportement des différents éléments minéraux dans le sol conduit à des démarches particulières pour chacun d'entre eux. Bien qu'il reste beaucoup à faire pour la bonne connaissance de la dynamique de ces éléments dans les sols tropicaux, on dispose d'un certain nombre de données.

11- Les principaux éléments minéraux

111. Le phosphore se répartit dans le sol entre plusieurs fractions en équilibre entre elles, dont une partie seulement est disponible pour la plante. La disponibilité sera fonction de la nature du milieu qui semble peu varier à cet égard dans les zones sableuses exondées de nos régions et du niveau des réserves phosphatées qui est extrêmement bas.

Cet élément ne migre pas dans le sol, et ne paraît pas, dans les conditions de sol du Sénégal, sujet à la rétrogradation.

La plante l'absorbe très lentement et dans la mesure de ses besoins.

Dans ces conditions, la fertilisation phosphatée peut s'envisager en deux étapes :

- une fertilisation de redressement, définitive, qui relève le niveau des réserves du sol (100 à 150 kg de P₂O₅/ha);
- puis une fertilisation d'entretien compensant les exportations des cultures

112. Le Potassium offre un aspect très différent .

Retenu sous forme échangeable par les colloïdes du sol, ce cation est très mobile dans les sols sableux. Bien que sujet à des équilibres assez complexes, il semble disponible pour la plante même à des niveaux très bas. Celle-ci l'absorbe très facilement, et peut en faire une consommation très importante, plus en rapport avec la quantité présente dans le sol qu'avec ses réels besoins.

Enfin, des apports importants de potassium favorisent également son entraînement par drainage.

En ce qui concerne la zone tropicale sèche, on ne dispose que d'un très petit nombre d'observations expérimentales au sujet de la fertilisation potassique, considérée jusqu'à présent comme ne posant pas de réel problème. Il n'en est pas de même maintenant, non seulement au Sénégal, mais dans toute la

zone soudano-sahélienne sur sols ferrugineux tropicaux, le maintien de la fertilité potassique est un problème d'actualité, les déficiences en culture continue devenant fréquentes.

On considère qu'il est inutile de tenter de constituer des réserves importantes dans ces sols pauvres, et on s'oriente vers une fertilisation annuelle équilibrant les pertes sans favoriser les consommations de luxe.

113. L'Azote est un élément essentiel à la production végétale, principalement céréalière. Sa disponibilité dans le sol est largement dépendante du statut organique et de l'activité microbienne.

La définition de la fumure azotée doit donc se raisonner dans un contexte beaucoup plus large qui fera l'objet d'un développement ultérieur.

114. Le Soufre assimilable est naturellement d'origine organique. Bien que les besoins des plantes soient généralement faibles, des déficiences peuvent apparaître, et l'approvisionnement en soufre doit être assuré, le plus souvent avec la fumure azotée (ordre de 10 kg S/ha).

115. Le Calcium n'a pas d'importance particulière sur le plan nutritif, mais son rôle principal se situe au niveau de l'ambiance physico-chimique. Par la saturation plus ou moins grande des charges libres des colloïdes, il détermine l'acidité du sol, importante pour la solubilité des éléments nutritifs (P, Fe, Mn) ou toxiques (Al, Mn), l'activité biologique du sol, la structure, etc...

En culture continue, les pertes de calcium par drainage sont importantes, et il faut songer à lutter contre l'acidification du sol.

Les apports de chaux doivent être calculés pour permettre d'équilibrer l'acidité d'échange du sol.

116. Les autres éléments ne font pas, jusqu'à présent, l'objet d'une fumure particulière. Toutefois, l'intensification des productions doit s'accompagner d'une attention particulière à l'égard des oligoéléments, notamment du molybdène et du bore, qui semblent devenir limitants pour les légumineux (arachide, coton).

12- La détermination de la fumure des différentes cultures se fait en fonction des exportations (PK), ou de la réponse de la culture (N).

L'azote est apporté en petite quantité à certains stades pour permettre à la plante de s'installer (semis) de passer une période critique (repiquage, démariage) ou en fortes quantités lors des phases des besoins intenses (céréales). Pour les légumineuses, après installation de la culture, la nutrition azotée est assurée par la fixation symbiotique de l'azote de l'air, et la présence de quantités importantes d'azote minéral dans le sol ne pourrait que pénaliser cette fixation.

Les études de fertilisation ont porté, pour chaque élément, sur chacune des différentes cultures vivrières, et nous ne ferons ici que reproduire le tableau de fumures minérales qui en est résulté (tableau 1).

Tableau 1 : Fumures vulgarisées pour les principales cultures

CULTURE	FUMURE VULGARISEE	kg/ha	FUMURE FORTE	kg/ha
Jachère ou engrais vert			400 kg phosphate tricalcique (redressant de la carence initiale, uni-quant à la première rotation)	
	Nord	10-13-8	150	
ARACHIDE	Thiénaba	6-10-20	150	8-18-27 150
	Sud Est	8-18-27	150	
MIEBE	Banbey	6-10-20	150	8-18-27 150
	Louga	6-20-10	150	
M I L		14-7-7	150	10-21-21 150 + urée 100
SORGHO		14-7-7	150	10-21-21 150 + urée pour SH60 100 " " 51-69 150 et CE90
M A I S		8-14-18	150	8-18-27 300 + urée 100 + urée 200
COTONNIER		8-18-27	150	8-18-27 150 + urée 50 + urée 50
RIZ PLUVIAL TS 123 ou 319G		8-18-27	100	8-18-27 150 + urée 50 + urée 100
RIZ PLUVIAL (I.K.P. ou 302G)		8-18-27	150	8-18-27 200 + urée 75 + urée 150
RIZIERE DOUCE AMENAGEE (Casanansa)				8-18-27 200 + urée 100

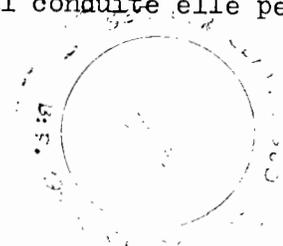
2 - POUR UNE CONCEPTION DE LA FERTILISATION DANS UN CADRE PLUS LARGE

Jusqu'à présent nous avons envisagé la fertilisation et son contexte dans le cadre de leurs effets directs sur la production végétale. Ce cadre est néanmoins étroit et il doit être élargi si nous voulons appréhender l'ensemble des incidences de la fertilisation tant sur l'aspect de la conservation du patrimoine que sur l'effet moteur dans l'économie et de la valeur nutritive des produits.

21- Effets d'une fertilisation mal conduite

Les écosystèmes des sols sableux de l'Ouest africain sont en équilibre fragile (pluviométrie faible et irrégulière, faible pouvoir tampon du sol, températures élevées) donc un milieu susceptible d'amélioration notable mais qui "encaisse mal" les erreurs (interventions inappropriées).

Les sols sableux sont le siège d'une perte naturelle des cations (accentué par la suppression des jachères) donc d'une acidification naturelle (16) avec les conséquences que cela comporte: déshumification liée à l'appauvrissement minéral (4) perturbation de l'activité biologique (3) blocage d'éléments nutritifs (phosphore) et solubilisation d'éléments toxiques. Ces phénomènes sont inéluctables en conditions naturelles, un des buts de la fertilisation doit être de les maîtriser. Mais lorsque cette fertilisation est mal conduite elle peut au contraire favoriser la dégradation du milieu.



211. En raison de la nature des ions apportés par l'engrais

Les engrais apportent fréquemment, avec les éléments nutritifs, des ions acides (chlorure, sulfate) non ou peu absorbés, d'où l'importance des formes non ioniques (urée, N-lignine, pailles libérant la potasse) et des apports périodiques de chaux déjà nécessaires en conditions naturelles. Une expérience de longue durée a montré à Bambeï l'effet acidifiant du sulfate d'ammoniaque comparé à l'urée (15).

212. Par le fait d'une fumure déséquilibrée

En lysimètre à Bambeï on note sous culture de mil le lessivage d'azote suivants (11)

Tableau 2: Action d'une fumure déséquilibrée sur le lessivage de l'azote sous culture de mil en micro-lysimètres

Traitement	Pertes d'azote (mg) du 25/8/72 au 15/9/72
N P K	299
N K	610
N P	475
Sans fertilisat.	25
P K	51

Un déséquilibre alimentaire en P ou K, en réduisant la demande de la plante (par la baisse des rendements induite) favorise le lessivage des éléments mobiles abondants tels que l'azote. Par ailleurs, la fumure phospho-potassique seule, bien qu'elle ait augmenté les rendements (et par là l'exportation d'azote) a accru le lessivage de cet élément (tableau 2).

Sur un plan plus général l'apparition d'un facteur limitant accroît la quantité d'éléments susceptibles d'être lessivés soit par réduction de la demande de la plante, soit par une stimulation de la décomposition de la matière organique. Remarquons la garantie offerte par les restitutions organiques qui complètent les fumures minérales toujours limitées à quelques éléments majeurs.

213. Par des apports massifs à un moment du cycle

L'engrais azoté apporté en début de cycle en grosse quantité, peut avoir plusieurs effets qui concourent à la fois à la pénalisation du rendement et à la dégradation du milieu par :

- activation à l'excès de la minéralisation en début de cycle des formes organiques labiles (8)
- lessivage important des ions NO_3^- excédentaires sur la demande
- risque de phytotoxicité de l'ammonium.

214. Par l'adoption de demi-mesure en fertilisation

Nous entendons sous ce vocable "demi-mesure" toute technique de fertilisation se limitant à la rentabilité immédiate de l'engrais. Non seulement, cette politique de fumure ne maintient pas intégralement la fertilité chimique des sols (bilan potassique notamment négatif) mais elle peut provoquer un surcroît d'appauvrissement du sol par rapport à la culture sans engrais en stimulant le lessivage et l'absorption des éléments plus plus qu'elle n'en apporte.

Ceci peut être illustré par le problème concret de l'épuisement des réserves potassiques du sol qui a décidé la Recherche agronomique sénégalaise à préconiser le passage d'une fumure dite "légère" (qui avait été conçue afin d'inciter les paysans à employer l'engrais avec une dépense minimum) à une fumure plus concentrée en potassium (17).

Bilan minéral en Thèmes légers (tableau 3)

Compte tenu de ce que l'on peut compter de moins en moins sur une régénération du stock potassique des horizons supérieurs le bilan minéral devient simple.

Si l'on veut qu'il soit équilibré et que la plante ne puise pas dans les réserves, tantant ainsi le capital foncier, il faut en moyenne vérifier l'égalité

Apports = lessivage + exportations.

En partant des chiffres obtenus en 1971 dans le Sine-Saloum sur arachide et mil comparons les apports minéraux en thèmes légers (6-20-10 sur arachide et 14-7-7 sur mil) aux exportations au cours de 3 années de culture comportant 2 arachides et 1 mil (proportion en général respectée dans le Sine-Saloum)

Tableau 3: Bilan N P K après 3 années de culture dans le Sine-Saloum en fumure légère

	Apports kg/ha			Exportations kg/ha		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Arachide	9	30	15	p.m.	18,5	33,5
Mil	21	10,5	10,5	49,2	13,8	15,5
Arachide	9	30	15	p.m.	18,5	33,5
Total	39	70,5	40,5	49,2	50,8	82,5
Bilan				- 10,2	+ 19,7	- 42

Les données sont les suivantes :

Arachide 150 kg/ha 6-20-10 pailles et gousses exportées
 Mil 100 " 14-7-7 pailles brûlées sur place après récolte

Rendements potentiels : Arachide 2.000 kg/ha gousses
 en milieu paysan Mil 1.200 " grain.

En ce qui concerne l'azote il existe une incertitude quant au bilan sur arachide. Il y a lieu de se montrer prudent d'autant que ce problème est lié à celui de la matière organique qui a une très grande importance dans ce type de sols.

Pour le phosphore le bilan est positif ce qui explique les effets résiduels observés sur mil dans ces sols carencés en P₂O₅.

Par contre le bilan du potassium est nettement déficitaire. Même si l'on admet des approximations quant à la détermination des exportations, même si une partie des fanes peut rester sur le sol (bien que ce soit un fourrage de choix), il ne faut pas oublier le lessivage dont il n'est pas tenu compte ici. Par ailleurs les chiffres d'exportations retenus sont les plus faibles que nous ayons enregistrés.

On peut donc dire qu'en l'absence de jachère de longue durée, la tendance générale est à l'appauvrissement du sol en potassium. Pour équilibrer exportations et apports il faut que le rendement de l'arachide ne dépasse pas 900 kg/ha de gousses. C'est le rendement moyen de tout le Sine-Saloum en 1971 alors que la 6-20-10 n'a été apportée que sur environ 10% des surfaces. L'apport d'engrais augmente les rendements, l'extension de la 6-20-10 dans la conjoncture actuelle de disparition des jachères aurait conduit fatalement à déséquilibrer le bilan dans un sens défavorable.

- Bilan minéral après substitution de la 6-20-10 par la 8-18-27 (tableau 4)

Les considérations précédentes conduisent donc à renforcer la 6-20-10 en potassium sans changer l'équilibre NP très satisfaisant. Après des étapes nous sommes orientés vers un équilibre 8-18-27 à utiliser à la dose de 150 kg/ha.

Nous pensons ainsi pouvoir au moins maintenir le niveau de réserves K du sol. Ceci est très important en raison de la synergie (interaction positive) qui peut exister pour les éléments K et P entre les réserves du sol et engrais récemment appliqués

- Attendre qu'un sol soit épuisé pour corriger la carence apparue est une erreur sur le plan agronomique et sur le plan économique: il faudrait apporter de grandes quantités de potassium par hectare (en rapport avec le niveau des réserves actuelles) dans des sols sableux peu tamponnés, à capacité d'échange cationique faible, donc à fortes pertes.

- En outre la culture "en bon père de famille" cherchant à maintenir le capital foncier, s'appuie sur une réalité agronomique, à savoir que, sur un sol fertile, à quantités d'éléments équivalentes, les engrais sont plus efficaces que sur un sol dégradé (effet vieille graisse). Ne recommande-t-on pas au paysan sénégalais de mettre l'engrais sur les terrains les plus riches alors qu'il aurait tendance à le mettre sur les plus pauvres ?

En partant des données suivantes :

Arachide 150 kg/ha 8-18-27 pailles et gousses exportées
 Mil 150 " 14-7-7 pailles brûlées sur place après récolte
 Rendements potentiels : arachide = 2.150 kg/ha (d'après résultats cités ci-après)
 Mil = 1.200 "

Le bilan s'établit comme suit

Sur une succession Arachide-Mil-Arachide

Tableau 4 : Bilan minéral après 3 années de culture dans le Sine-Saloum (fumure renforcée en potassium)

	Apports kg/ha			Exportations kg/ha		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Arachide	12	27	40,5	p.m.	20	35,5
Mil	21	10,5	10,5	49,2	13,8	15,5
Arachide	12	27	40,5	p.m.	20	35,5
Total	45	64,5	91,5	49,2	53,8	86,5
Bilan				p.m.	+ 10,7	+ 5

Compte tenu des pertes par lessivage le bilan est tout juste équilibré mais cependant satisfaisant.

Compte tenu de ce que dans un premier temps les rendements de 2.150 kg/ha seront rarement atteints en milieu paysan, on aura un léger enrichissement du sol, ou dans les terrains servant de pâture l'excès viendra combler les vides laissés par l'exportation de la jachère. Il ne faut pas oublier que 1 tonne d'herbe sèche exporte 19,1 kg de K₂O. De même, l'hypothèse tient compte d'un brûlis des pailles de mil ce qui n'est pas toujours le cas, beaucoup de ces pailles étant utilisées pour des usages domestiques (confection de tapades en particulier).

22- Le véritable impact économique de la fertilisation

La rentabilité de la fertilisation va bien au-delà de ses effets directs chiffrables sur les rendements :

- le respect du patrimoine foncier est la condition sine qua non de la pérennité d'une agriculture intensive car l'élévation de la production au détriment du capital est non seulement passagère mais présente un réel danger (dégradation irréversible du milieu)

- dans un effet plus immédiat, il serait erroné de mesurer la plus-value apportée par l'engrais par la seule augmentation de rendement. En effet, la production d'engrais qu'elle suscite en amont et le surplus de produits commercialisés qu'elle apporte sur le marché sont autant d'effets multiplicateurs à l'échelle macro-économique. Par exemple la production d'un kg d'arachide en plus insufflé dans l'économie sénégalaise (P.N.B.) 3 fois son équivalent.

23- Fertilisation et qualité des récoltes

L'utilisation des engrais azotés est indispensable pour augmenter le rendement en grains et en protéines des céréales (graphiques 1 et 2)

Les résultats que nous présentons dans ce chapitre ont été obtenus sur une expérimentation mise en place à Bambey en 1973 sur mil Souma III (9).

La fumure azotée provoque un accroissement global des protéines du grain de mil et une diminution de la teneur en acide aminé indispensable de ces protéines. Mais l'enrichissement du grain en protéines plus que proportionnel à la baisse des acides aminés dans les protéines, conduit en définitive à un enrichissement du grain en acides aminés indispensables, donc à une augmentation de sa valeur nutritionnelle.

L'enfouissement de paille de mil compostée accroît très nettement l'effet des doses 60 N et 90 N tant en ce qui concerne les teneurs en protéines et en lysine du grain que leur rendement à l'hectare.

Une étude de croissance animale (rats nourris avec mil produit sur l'expérimentation) montre un effet spécifique bénéfique de la paille compostée enfouie sur la valeur nutritionnelle des grains (graphique 4).

En conclusion, nous dirons qu'il est nécessaire de conjuguer les apports organique et azotés pour une optimisation en quantité et en qualité des récoltes de céréales.

24- Conclusion

S'il est vrai qu'on utilise des engrais pour produire davantage, on peut maintenant mesurer combien il serait erroné, et même dangereux, de réduire le schéma de fertilisation au rapport direct du coût de l'intervention au gain de produit végétal :

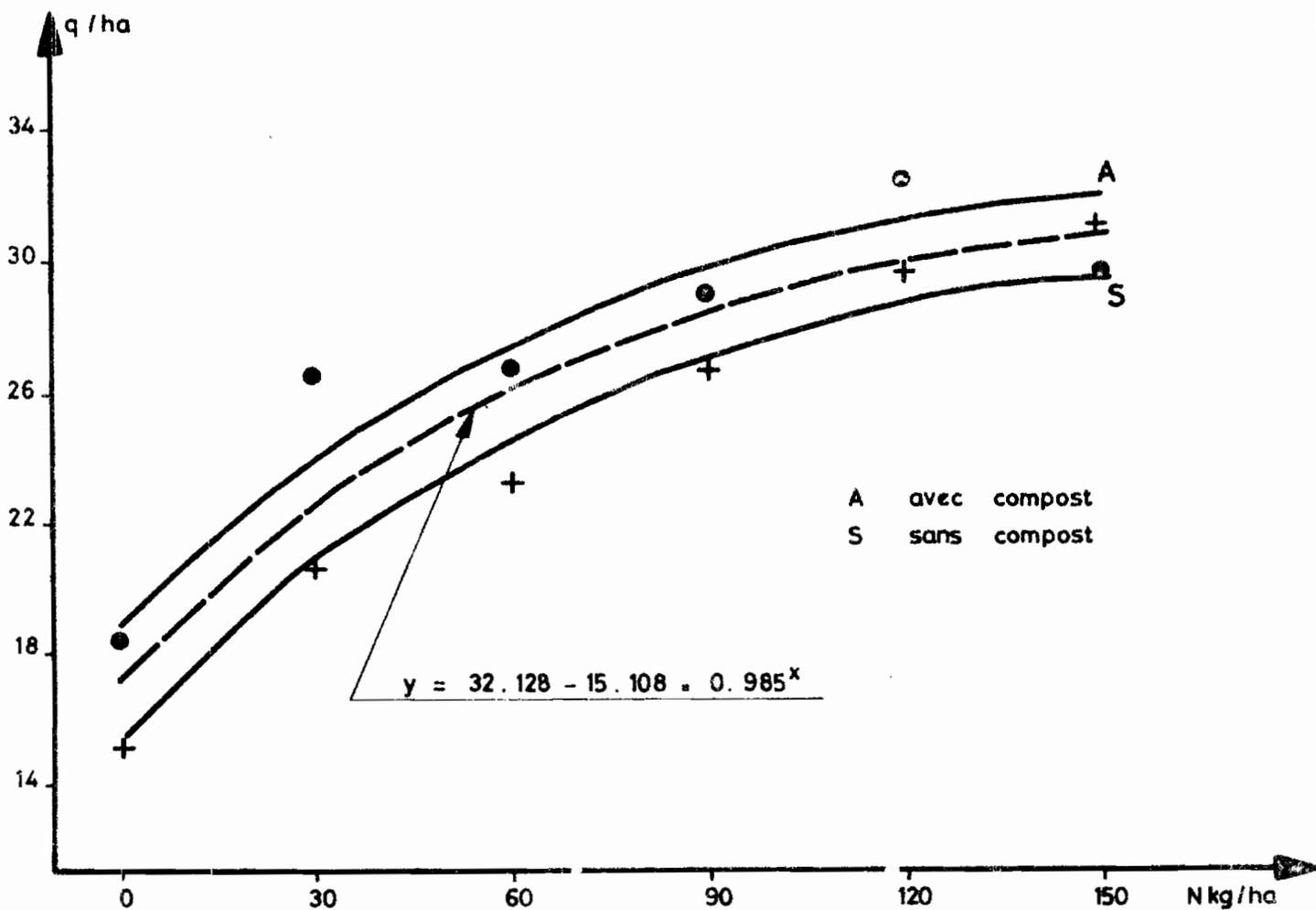
D'abord parceque l'engrais n'est qu'un des éléments qui concourent à élever cette production, et qu'il faut l'insérer dans tout un système de culture dont tous les aspects interagissent, et qui contribue, globalement, à acheminer le milieu de culture vers un équilibre dont il faut avoir le plus grand souci, si l'on veut produire longtemps. Il ne faudra pas perdre de vue cette **réalité** au moment de chercher à économiser l'engrais.

Ensuite parceque, par delà ce simple effet direct de la fertilisation sur les rendements, on ne doit pas sous-estimer le rôle moteur de cet effet sur l'ensemble de l'économie. De la sorte, telle intervention qui peut, dans le cadre de l'exploitation, paraître faiblement rentable s'avère hautement bénéfique pour l'économie d'un pays, et une éventuelle subvention à la fertilisation se trouve finalement plus que payée.

Enfin parceque, dans des pays où les sources d'alimentation sont encore peu diversifiées, on ne peut pas négliger l'effet d'une fertilisation judicieuse sur la valeur nutritive des aliments.

C'est dans cet **esprit**, et avec toute la prudence que cela comporte, qu'il nous faut maintenant rechercher les moyens d'économiser l'engrais, qui est de plus en plus coûteux.

Effet du compost en présence de doses croissantes
d'azote sur le rendement en grains de mil -
BAMBEY 1973

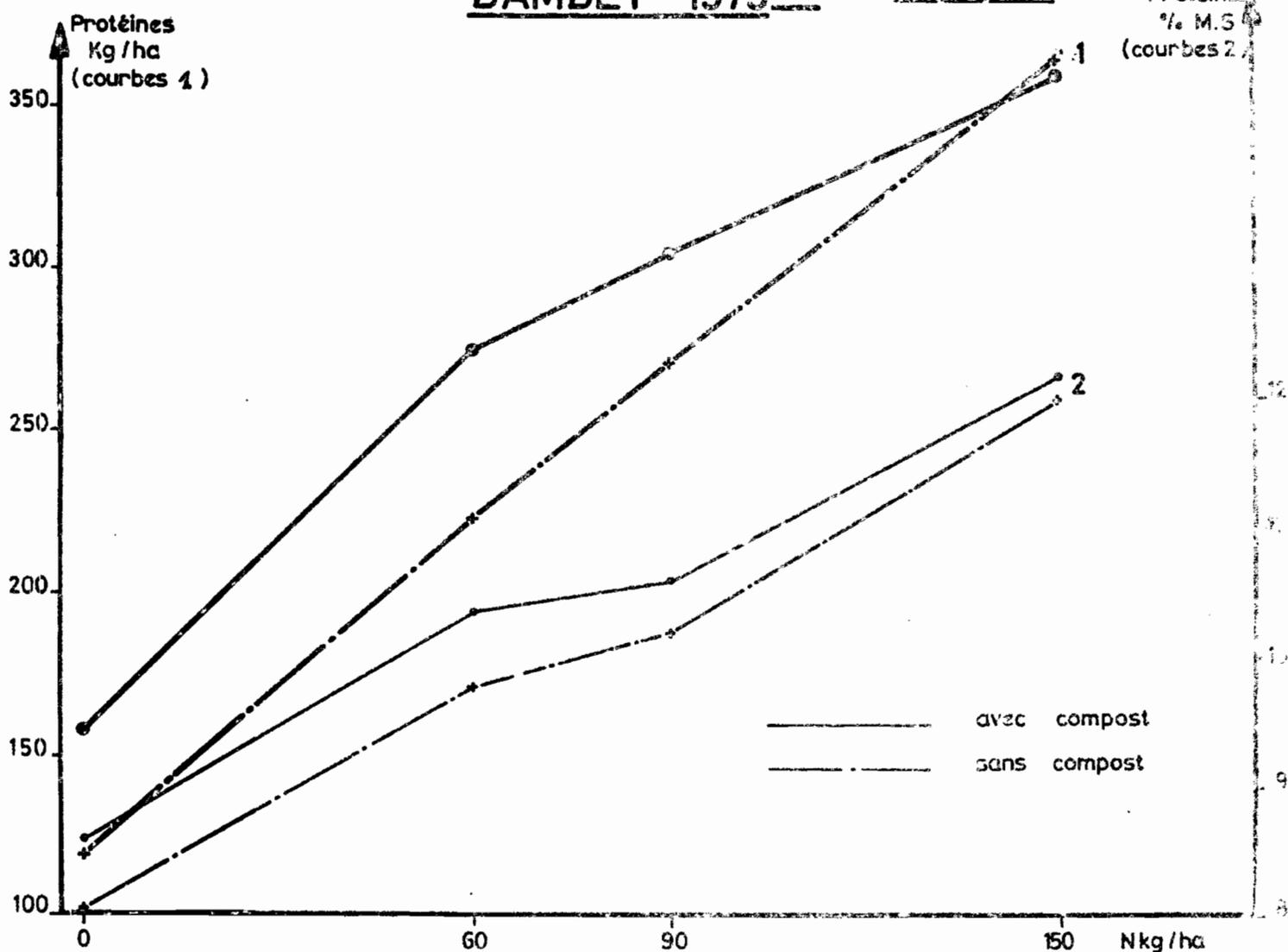


Effet du compost en présence de doses croissantes d'azote sur la production de protéines de mil -

BAMBEY 1973

Graphique : 2

Protéines
% M.S
(courbes 2)

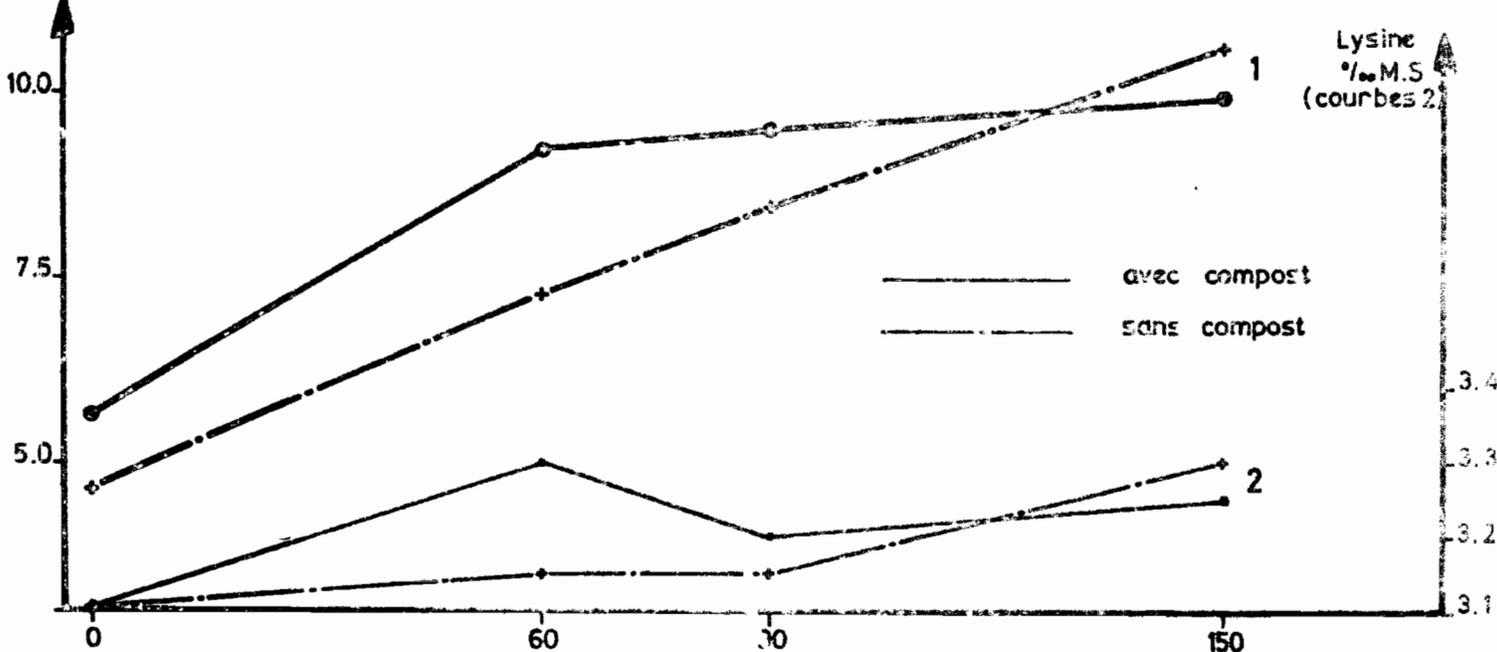


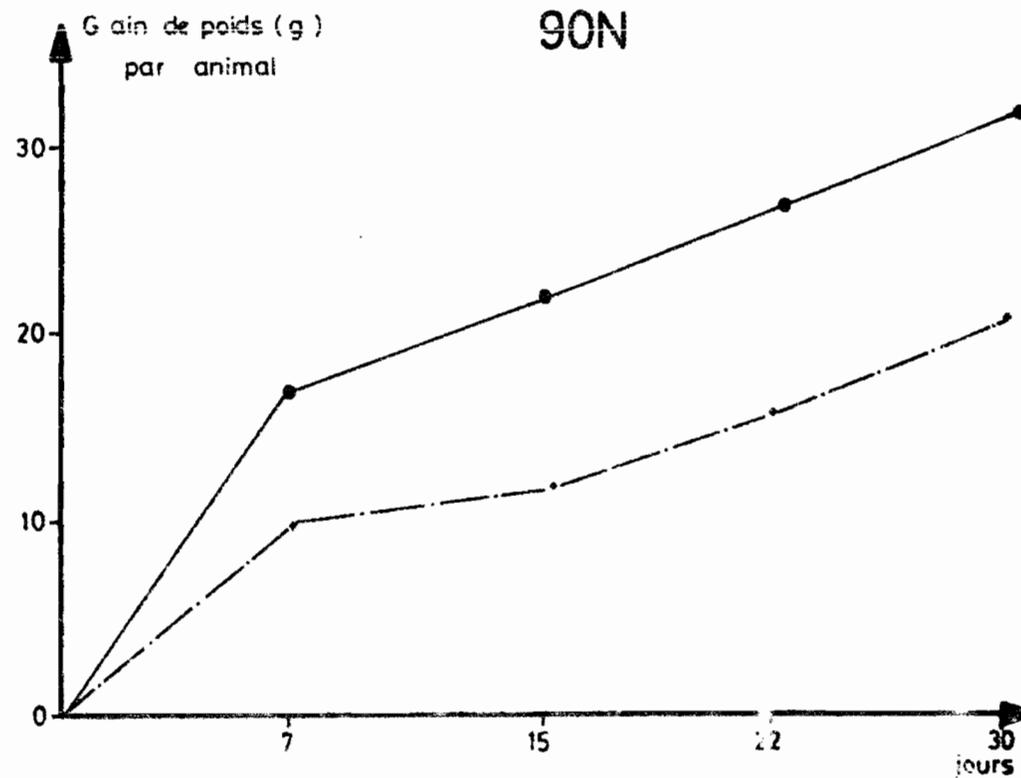
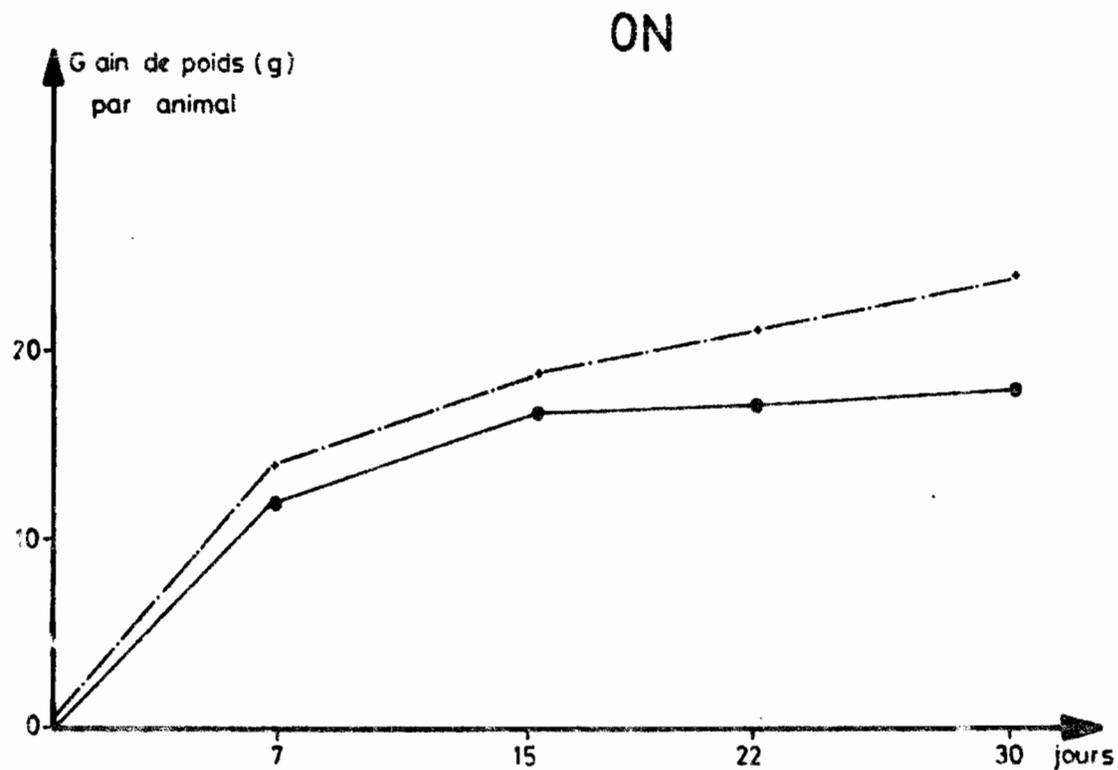
Effet du compost sur la production de lysine

Graphique : 3

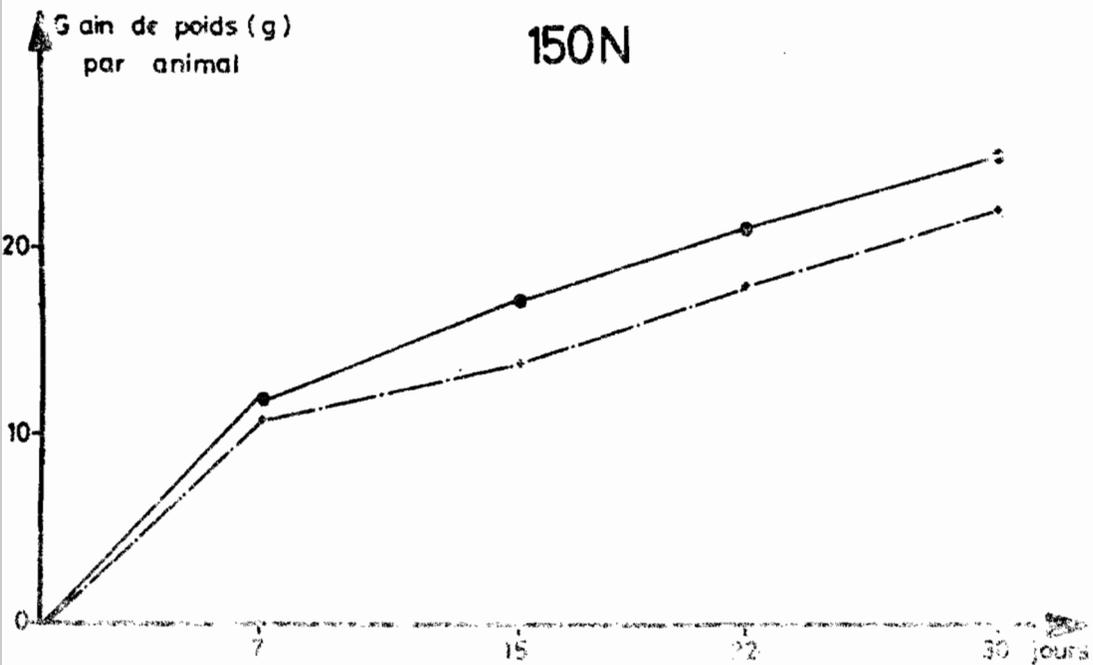
Lysine
kg/ha
(courbes 1)

Lysine
% M.S
(courbes 2)





—●— avec compost
 - - -◆- - sans compost



Action de la valeur nutritionnelle des grains sur la croissance animale : Rats

Graphique: 4

3. DANS CE CADRE, COMMENT RAISONNER L'ECONOMIE D'UNE FERTILISATION QUI RESTE ONEREUSE ?

En préambule, nous ferons une remarque simple, principe de base régissant l'économie d'engrais.

Toute technique culturale qui, indépendamment des fumures minérales, favorise la croissance végétale, favorise du même coup l'efficacité de l'engrais et toute technique qui diminue les pertes de cet engrais conduit à une économie. Il convient cependant, dès à présent, de faire une distinction entre les techniques qui s'appliquent à l'ensemble des éléments fertilisants NPK, donc à l'engrais ternaire d'une manière générale et les techniques qui, s'appuyant sur la biologie des sols principalement, ont trait plus spécifiquement à l'azote et peuvent dans certains cas (fixation biologique) suppléer son apport.

31 - Techniques s'appliquant à l'ensemble des éléments

Trois principes essentiels doivent présider, dans le cadre d'un système cultural défini, à la recherche de la meilleure rentabilisation de la fumure, à savoir :

- le placement de l'engrais
- l'enfouissement des résidus de récolte
- le semis précoce.

311 - Le placement de l'engrais

La localisation de l'engrais qui modifie l'espace racinaire conditionne corrélativement la nutrition hydrique de la plante lorsque l'eau devient facteur limitant.

L'engrais appliqué en surface favorise l'enracinement superficiel qui se produit au détriment des horizons de profondeur ; ce phénomène est plus prononcé en absence de labour car les racines éprouvent des difficultés à pénétrer en profondeur du fait d'une structure défavorable (tableau 5).

Tableau 5 : Répartition de l'enracinement du sorgho dans l'horizon 10-30 cm (14)

	Témoïn	Engrais en surface	Labour	Labour + engrais en surface
Densité racinaire 10-30 cm g/dm ³	0,189	0,114	0,309	0,207
% du terrain	100	60	163	110

Cette limitation du développement racinaire en présence d'une fumure minérale de couverture ne paraît pas très grave en ce qui concerne la nutrition minérale de la plante, tout au moins pour ce qui est des éléments peu mobiles de la fumure. On peut cependant remarquer que la limitation du volume du sol prospecté par le système racinaire ne permet pas à ce dernier d'exploiter toutes les ressources naturelles du sol.

Pour assurer son alimentation hydrique, la plante ne peut pratiquement disposer que des racines situées dans l'horizon 10-30 cm. Cette limitation du système racinaire risque donc, en cas de sécheresse prolongée, de perturber sérieusement l'alimentation hydrique de la plante et d'avoir de graves conséquences sur le développement végétatif et les rendements (14).

Dans les régions où les risques de sécheresse sont grands, l'enfouissement systématique de l'engrais en profondeur au moment du labour (singulièrement le phosphore) peut augmenter considérablement l'efficacité de celui-ci en favorisant l'enracinement profond, donc en permettant une meilleure alimentation hydrique chez la plante.

312 - L'enfouissement des résidus de récolte

L'incitation à l'enfouissement des résidus de récolte vise 2 objectifs :

- restituer au sol les éléments minéraux prélevés par la plante (sans pour autant prétendre rééquilibrer le bilan minéral rendu déficitaire à plus ou moins long terme en raison des exportations végétales consommées ou commercialisées et non restituées) et permettre une libération progressive de ces éléments minéraux (important dans le cas de la potasse).

- améliorer l'activité biologique du sol donc son statut organique (pool de phosphore, d'azote et de soufre principalement).

3121 - Le bilan minéral

On peut affirmer qu'il est impossible dans un système de culture extensif amélioré ou en système de culture plus intensif, d'équilibrer économiquement le bilan minéral, et tout particulièrement le bilan potassique, sans la restitution la plus complète des résidus de récolte comme le montre les résultats (tableau 6) d'une étude menée sur une succession culturale cotonnier-sorgho (19).

Tableau 6 : Bilan minéral K_2O et P_2O_5 pour une simple succession culturale sorgho-cotonnier mais conduite selon deux techniques (19)

Hypothèse I (Export des tiges de sorgho)
(Brûlis des tiges de cotonnier) Hyp. II (Brûlis des tiges sorgho
(Brûlis des tiges cotonnier)

	CULTURES	RESTITUTIONS	Exportations minérales			
			Hypothèse I		Hypothèse II	
			P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O
Pertes	Cotonnier 2 t	Brûlis tiges	50	30	50	30
	Sorgho 2,5 t	Exportation (Hyp I)	37	105		
		Brûlis tiges(HypII)			24	12
	Total exportation		87	135	74	42
	Estimation					
	ruissellement		4	15	4	15
	drainage		0	30	0	30
	Total pertes 2 ans		91	180	78	87

(Suite tableau page suivante)

	CULTURES	RESTITUTIONS	Exportations minérales			
			Hypothèse I		Hypothèse II	
			P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
Gains	Cotonnier	(70 kg phosp. 160 kg sulf. K ₂ O	38	60	38	60
	Sorgho	(100 kg phos.NH ₄ 60 kg sulf.K ₂ O	45	30	45	30
	Total gain 2 ans		83	90	83	90
Bilan kg/ha élém.	Sur 2 ans		- 8	-90	+ 5	+ 3

Le tableau 6 met en évidence que dans l'hypothèse II (brûlis des pailles de sorgho), le bilan est équilibré.

Par contre et malgré les fumures préconisées, le bilan est nettement déficitaire, en particulier pour la potasse, dans le cas où les tiges de sorgho sont entièrement exportées.

Ce rapide bilan fait ressortir l'intérêt de l'étude de la fertilisation minérale à l'échelon d'un système de culture (c'est à l'échelon du système de culture qu'on doit donc raisonner principalement l'économie d'engrais possible) et la nécessité absolue de la restitution des résidus de récolte pour limiter les besoins en éléments minéraux.

Un exemple pris dans les sols inondés de Basse Casamance permet d'illustrer concrètement cette proposition.

La culture intensive du riz avec les variétés à grand rendement épuise les réserves du sol assez rapidement. C'est ce qui ressort d'une étude menée pendant 6 campagnes sur sol argileux de rizière au Sénégal (2). Le bilan de la potasse à la fin des essais montre que la culture intensive du riz épuise rapidement la réserve potassique ; mais l'enfouissement de la paille produite par une bonne récolte ou l'utilisation de doses moyennes de potasse peut y **remédier**. L'apport simultanée de potasse et de paille améliore la réserve potassique du sol.

3122 - L'activité biologique

En dehors de ses apports minéraux (notamment potassiques), la restitution des résidus de récolte (sous quelque forme que ce soit) a une incidence à moyen terme sur le bilan humique et dans certains cas, un rôle spécifique de première importance sur l'activité microbienne dans les sols sableux.

Ceci peut être illustré par les résultats d'une expérimentation réalisée en sol dior sableux à Bambey, fortement acidifié, où les rendements étaient devenus très médiocres, même avec de fortes fumures minérales. Les apports de fumier ont été ici associés à des apports de chaux (épandages séparés) ; les rendements (kg/ha) sont les suivants :

Tableau 7 : Effet de l'apport **fumier** + chaux sur l'efficacité de la fumure appliquée

Culture	Rotation	Sans fumure minérale		Fumure minérale faible		Fumure minérale forte	
		0	Fumier + chaux	0	Fumier + chaux	0	Fumier + chaux
Mil	Quadriennale	215	1 883	704	1 958	783	1 900
	Biennale	88	1 723	363	1 720	459	1 721
Arachide	Quadriennale	1 491	1 809	1 487	2 125	1 740	1 880
	Biennale	1 390	1 841	1 481	1 914	1 417	1 935

Les résultats du tableau 7 paraissent bien montrer la nécessité, en sol sableux, d'accorder la plus grande attention à l'écologie des populations microbiennes. Le rôle, dans la modification de cette écologie, des amendements calcaïques et de certains apports organiques comme le fumier, paraît essentiel (23).

L'étude, au CNRA de Bamboey, des différents rôles des matières organiques enfouies est actuellement activement poussée.

313 - Date de semis

Il est bien connu qu'en culture pluviale de zone tropicale sèche, le retard de la date de semis entraîne des baisses de rendements notables même en présence d'une fertilisation minérale optimale. Le retard à la date de semis est donc en zone tropicale sèche, une cause majeure, pour les céréales principalement de la baisse d'efficacité de l'engrais.

Le retard à la date de semis est préjudiciable aux rendements (effets directs sur la baisse d'efficacité de l'engrais) (tableau 8 et 9).

Tableau 8 : Influence de la date de semis et du labour sur le rendement d'un mil souna III en 1970 (24) :

	Témoïn sans labour	Labour de saison sèche	
	Semis en sec le 18.6.70	semis en sec le 18.6.70	semis le 26.6.70
Grain kg/ha	1 032	1 467	953

Tableau 9 : Influence à la date de semis sur le rendement (kg/ha) de l'arachide

Lieu	Variété	Date de semis	
		Début juillet	30 juillet
Thilmakha	59 - 127	706	195
	70 - 112	821	224
	55 - 437	953	426
Thiénaba		29 juin	30 juillet
	57 - 422	955	93
	59 - 127	852	302

En semis retardé, d'une part la plante n'est plus à même de profiter de l'intense minéralisation de début de cycle, qui est fortement diminuée, et d'autre part le parasitisme est plus important.

Tout retard au recouvrement du sol par la plante est un facteur supplémentaire de dégradation du sol (effet indirect sur la baisse d'efficacité de l'engrais).

On a pu mettre ainsi en évidence en sol de Hioro-du-Rip (900 mm de pluie) maintenu en jachère nue une proportionnalité entre le lessivage des nitrates et l'acidification (8).

Il est donc impératif en sols sableux tropicaux que l'installation de la plante soit assurée le plus précocement possible. C'est un préalable indispensable à une bonne efficacité de l'engrais minéral.

32 - Techniques s'appliquant plus spécifiquement à l'azote

L'engrais azoté est la composante la plus importante dans la consommation des engrais : 45 %, mais le plus coûteux parmi les éléments fertilisants.

L'évolution récente des cours des produits de base comme le naphta (dérivé du pétrole) ont provoqué une augmentation très sensible du coût de l'unité d'azote. Il se manifeste même aux U.S.A. la crainte d'une pénurie d'engrais azoté* qui de toute évidence se répercuterait à un niveau mondial plus général avec baisse induite de la production vivrière. Il importe donc de mettre en oeuvre tous les moyens susceptibles d'économiser l'engrais azoté sans pour autant pénaliser la production agricole qu'il est au contraire plus urgent que jamais d'accroître dans les pays du tiers-monde. Nous verrons successivement dans ce chapitre tous les moyens proposés par la recherche agronomique tropicale qui ont fait -ou font- l'objet d'étude.

* Des 25 millions d'ha récemment rendus à la culture aux U.S.A. dans le but de reconstituer des réserves de céréales, la majeure partie ne serait pas fertilisée (source F.A.O.).

321 - Les facteurs qui peuvent augmenter sensiblement l'efficience de l'engrais minéral azoté sur céréale

3211 - Les apports d'azote fractionnés

Les études de dynamique de l'azote minéral dans le sol ont abouti à l'établissement de courbes d'évolution de l'azote minéral. Nous pouvons confronter ces courbes à la courbe de mobilisation de l'azote par la culture afin de définir la fertilisation azotée qui permette de satisfaire au mieux les besoins en azote de la céréale. Ces études ont montré clairement la nécessité du fractionnement de l'azote, en cours de cycle végétatif. Ce fractionnement en deux apports augmente dans le cas d'un mil de 90 jours, le rendement en grain de 55 % et en protéines de 135 % (comparé à un seul apport) (tableau 10).

Tableau 10 : Effet de la fumure azotée sur la production de protéines d'une culture de mil

Traitement	Rendement en grain kg/ha	Teneur en azote grain %	Azote en kg/ha	Protéines kg/ha
Sans azote	781	1.16	9.0	56.2
Azote au tallage	1 333	1.43	19.1	119.4
Azote au tallage + azote à la moisson	2 066	2.18	45.0	281.2

Dans le tableau 11, nous avons résumé le fractionnement retenu pour les principales cultures pluviales au Sénégal.

Tableau 11 : Tableau récapitulatif du fractionnement urée (kg/ha) sur les cultures pluviales au Sénégal

Cultures	1er apport	Urée kg/ha	2ème apport	Urée kg/ha
Souma III	Tallage-démariage	50	45è jour après levée	50
Sorgho CE90 et CE111 SIF60 ou local 51-69	Tallage-démariage	50	45e " " "	100
	" "	50	" " " "	50
	" "	50	60e " " "	100
Sanio Séfa	Tallage-démariage	50	60e jour après levée	50
Riz Se 319 G - TS 123 pluvial ou Se 302 G - IKP	Tallage	100	45e jour après levée	50
	"		" " " "	100
Maïs BDS JDS ZM10	27e jour après semis	100	41e jour après semis	100
Cotonnier BJA	-		30e jour après semis	50

N.B : A titre provisoire, mentionnons le fractionnement retenu pour le souma GAI. Souma GAI (75 j) : tallage-démariage 50 N ; 30e jour après levée 100 N.

Remarques concernant l'apport d'azote au semis

D'une manière générale, la fertilisation avec les engrais ternaires prévoyant leur épandage avant le semis apporte une dose d'azote au semis qui nous semble importante, non en raison de sa participation directe à l'alimentation azotée mais de l'accroissement de vigueur de la plante qu'elle induit, donc, en définitive, de la meilleure aptitude de cette plante à utiliser l'engrais des apports différés et l'azote du sol.

3212 - Les restitutions organiques au sol

Le rendement des engrais azotés est généralement médiocre: dans les sols sableux tropicaux, par le fait :

- de la rapide biodégradation de leur matière organique
- du lessivage intense dont ils sont le siège.

Pour cette raison, la connaissance de leur statut organique revêt une importance capitale. L'azote ammoniacal est d'autant mieux retenu dans le sol que le niveau en matière organique libre (pour la réorganisation de l'azote minéral) et en matière organique humifiée (pour la fixation de l'ammoniac sur les colloïdes organiques) seront élevés. L'azote-engrais ainsi stocké provisoirement est progressivement mis à la disposition de la plante. Nous prendrons comme exemple l'effet d'un enfouissement de pailles compostées de mil, réalisé depuis deux années par un labour de fin de cycle, sur la productivité de l'unité d'azote pour une culture de mil souma III en 1973 à Bambeï. Dans cette expérimentation, l'enfouissement de pailles compostées améliore les rendements à tous les niveaux d'azote jusqu'à la dose optimale de 120 N (plus-value moyenne de 350 kg grain/ha) (9).

L'effet le plus spectaculaire de l'enfouissement est observé à la faible dose d'engrais azoté (30 kg N/ha) pour laquelle la plus-value enregistrée est de 600 kg de grain/ha, permettant ainsi d'économiser 60 kg N, supplément nécessaire à l'obtention de cette plus-value de rendement en absence d'enfouissement de paille. Notons que la plus-value de rendement obtenue par l'enfouissement en absence d'engrais azoté n'est que de 300 kg.

Cas des sols inondés

En sol argileux acide de Casamance, une étude menée sur 5 campagnes a montré un effet spectaculaire de la paille enfouie sur la nutrition azotée du riz (1). L'effet de l'enfouissement de paille à 6 t/ha est équivalent à l'apport de 100 kg d'azote (tableau 12), ce que l'auteur explique par une augmentation des teneurs en azote minéralisable, azote et carbone totaux. L'enfouissement de paille augmente sensiblement l'efficacité de l'apport d'azote.

Tableau 12 : Influence de l'enfouissement de paille en présence ou en absence d'engrais azoté sur le rendement paddy kg/ha d'un riz T (N) 1.

Azote	sans paille	avec paille	
0 N	6 129	6 653	6 391
100 N	6 389	6 895	6 642
200 N	6 303	6 798	6 551
	6 274	6 782	

3213 - Rentabilité de l'engrais azoté minéral dans le système sol-plante

Des études réalisées au champ en année sèche (1972) ont montré, grâce à l'azote 15 utilisé comme traceur, le rôle primordial joué par la matière organique du sol d'une part dans la nutrition azotée du mil (en tant que source d'azote et d'autre part sur le stockage biologique de l'azote-engrais dans le sol. Pour une faible pluviométrie de 375 mm caractérisée par son irrégularité (1 mois de sécheresse en début de cycle cultural), cette culture de mil souba III, pour un rendement en grain de 2 300 kg/ha, a utilisé 39 % de l'engrais azoté épandu à la dose de 60 kg/ha N et fractionné en deux apports ; 43 % de cet engrais a été retenu dans l'horizon 0-90 cm du sol (10).

A la lumière de ces résultats, il importe de souligner qu'une part non négligeable de l'engrais est stockée dans le sol, contribuant ainsi au maintien du stock organique du sol à long terme et qu'en conséquence il doit en être tenu compte dans une étude de rentabilité de l'engrais azoté.

322 - Les engrais à ammonification progressive dits "engrais retardés" et les inhibiteurs de nitrification

On accorde actuellement de plus en plus d'intérêt aux engrais azotés qui, à l'instar de la matière organique du sol, libèrent progressivement l'azote minéral.

Ces engrais présentent tous les avantages des applications fractionnées ; ils s'avèrent particulièrement intéressants pour la fumure des cultures dont la consommation de l'azote est répartie sur une longue partie du cycle végétatif. Parmi les engrais de ce type, on citera les urées formaldéhydes utilisées depuis une vingtaine d'années, mais qui sont coûteuses, et la N-lignine, produit récent, encore au stade expérimental, qui offre des perspectives extrêmement intéressantes dont nous parlerons dans ce chapitre.

En ce qui concerne les inhibiteurs de nitrification, s'ils sont appelés à rendre de grands services en régions tempérées, ils s'avèrent en général inefficaces en milieu tropical où leur biodégradation est trop rapide pour que leur effet ait le temps de se manifester (7).

3221 - Perspectives offertes par la N-lignine

En matière de fertilisation azotée au Sénégal, seuls les engrais minéraux, urée en particulier, ont été largement étudiés et la plus-value qu'ils apportent n'est plus à démontrer (rendement, taux de protéines). Ils pèchent cependant sur certains côtés :

- risques énormes de lixiviation de l'azote sous forme nitrique sous l'action des fortes pluies (d'où l'intérêt d'inhiber la nitrification)
- difficultés, dans la réalisation du fractionnement surtout au moment du deuxième épandage (d'où l'intérêt d'épandre un engrais à libération progressive d'azote)
- risques de brûlure des feuilles par l'urée.

Ces trois principales raisons nous ont amené à explorer une nouvelle voie de recherche en matière de fertilisation au Sénégal, l'engrais-retard.

La N-lignine est un produit organique dosant 17,5 % d'azote qui libère progressivement l'azote minéral dans le sol, possédant en outre des propriétés inhibitrices sur la nitrification et laissant dans le sol un résidu dont les propriétés se rapprochent de celles de certains composés humiques.

Les premiers résultats obtenus à Bambey mettent en évidence en présence de N-lignine comparativement à l'urée, une très nette diminution des pertes d'azote par lessivage, sans diminuer le rendement total en matière sèche sauf pour les faibles doses d'azote pour lesquelles l'urée se montre supérieure ; par ailleurs lorsque le sol est carencé en un élément (P ou K), la N-lignine se montre toujours supérieure à l'urée sur le rendement matière sèche (11).

Origine de la N-lignine

En Allemagne, les eaux résiduaires de l'industrie de la cellulose, riches en lignine, toxiques dans les fleuves, subissent une ammonification oxydative pour donner la N-lignine. Cette réaction chimique supprime la toxicité.

Dans les pays gros producteurs de bois, donc potentiellement producteurs de cellulose, à des fins industrielles (papier), le prix de revient de la N-lignine serait relativement bas si l'ammoniac pouvait être fabriqué localement, ce qui est aisément envisageable pour les pays producteurs de pétrole.

Notons que sa fabrication est un moyen efficace et rentable de suppression d'une source de pollution que sont les eaux résiduaires des usines de pâte à papier.

Cette N-lignine fait actuellement l'objet d'études de base très poussées dans les laboratoires du Prof. FLAIG de Braunschweig et d'études d'application au Sénégal.

Possibilités offertes en Afrique

Il est intéressant de souligner que certains pays africains de la zone tropicale humide et équatoriale (producteurs de bois et de pétrole) offrent les conditions requise pour produire à moindre frais la N-lignine.

Envisagés sous l'angle d'un transfert de fertilité des zones forestières humides (hautement productives en bois et soumises à une régénération permanente due à l'arbre) vers les zones sèches (aux fortes potentialités agricoles mais à fertilité rapidement dégradables sous l'action de la culture) cette N-lignine présente un intérêt indéniable en Afrique de l'Ouest.

3222 - D'autres solutions

Nous envisageons l'essai de certains inhibiteurs d'activité biologique (autres que les inhibiteurs de nitrification dont l'intérêt n'est pas encore établis définitivement) tels que les inhibiteurs d'activité uréasique dans le sol qui appliqués en début de cycle pluviométrique pourraient ralentir la minéralisation excessivement rapide à cette époque de l'année, et même également les pertes d'urée.

323 - La fixation biologique de l'azote de l'air

Il est bien connu que les légumineuses sont capables de produire, sans engrais azoté, grâce à la symbiose rhizobium-légumineuse, fixatrice d'azote, des substances de base pour l'alimentation mais aussi d'enrichir l'écosystème en azote par leurs racines et le retour au sol de leurs résidus organiques aériens (on n'accorde à l'engrais azoté qu'un rôle starter lorsqu'il est appliqué).

Il existe dans le sol une autre forme de fixation, libre et non symbiotique, qui est le fait de différents micro-organismes et qui joue un rôle non négligeable dans le maintien de la fertilité azotée des écosystèmes, particulièrement, en sols inondés. Cette forme de fixation est stimulée dans le rhizosphère de certaines plantes notamment le riz.

3231 - Importance de la fixation symbiotique en zone tropicale

Les deux principales légumineuses intéressées sont l'arachide et le soja dont les rendements élevés qu'il est possible d'atteindre avec une fumure complète (qui n'apporte que de 10 à 15 unités d'azote) témoigne de l'importance de la fixation de l'azote par la symbiose dans les conditions écologiques sénégalaises. On a pu mesurer, en Casamance sur le soja, que la quantité d'azote absorbé provenant de la fixation était de l'ordre de 100 kg/ha. Ce résultat, très important, signifie qu'il y a intérêt à favoriser toutes les techniques permettant une valorisation de cette fixation symbiotique. L'azote de l'air est une source d'azote gratuite pour les légumineuses et sa fixation biologique entraîne donc obligatoirement une économie d'engrais, en même temps qu'une augmentation du taux de protéines. L'une de ces techniques peut être l'inoculation par des souches de Rhizobium plus efficaces que celles existant dans les sols tropicaux. En sélectionnant des souches compétitives, résistantes aux fortes chaleurs et à l'acidité du sol, on augmentera certainement la fixation de l'azote atmosphérique.

Concernant la fumure, il faut cependant noter une très importante interaction phosphate x azote qui confirme que toute fumure doit être complète, l'absence d'un élément entraînant un déséquilibre préjudiciable aux rendements (tableau 13).

Tableau 13 : Influence de la fertilisation sur le rendement en protéines kg/ha obtenus en 1973 sur une culture de soja et une culture de mil

	kg/ha N	0	30	150
	PK			
Mil	sans	150	////	////
	avec	140	200	350
Soja	sans	940	850	////
	avec	820	910	////

3232 - Importance de la fixation non symbiotique de l'azote en zone tropicale

De nombreux chercheurs ont étudié ce phénomène biologique, mais on commence seulement à prendre conscience de son importance sur le plan agronomique principalement dans les sols hydromorphes.

Fixation libre due à la culture

Il a été montré qu'une culture de riz inondés pouvait fixer environ 80 kg d'azote/ha contre 5 kg seulement pour une culture de riz en sol de plateau (résultats obtenus à l'IRRI aux Philippines).

En sol gris hydromorphe de bas de versant en Casamance, nous avons souligné la plus-value de rendement obtenue sur riz pluvial et dû au précédent riz, sans apport d'engrais azoté (12).

Ce gain d'azote, vraisemblablement dû à la fixation rhizosphérique de l'azote de l'air et qui traduit la spécificité du statut azoté de l'écosystème "sol gris + riz pluvial" devrait permettre une économie d'engrais azoté. Il est probable que cette fixation soit spécifique du riz, auquel cas il conviendra, dans les successions culturales, de faire bénéficier la culture non fixatrice de l'apport dû aux cultures de riz précédentes.

Fixation libre dans le sol

Il semble que cette fixation soit nettement favorisée par l'apport de matière organique au sol mais par contre inhibée par un apport d'azote minéral (tableau 14) qui provoque même des pertes d'azote dans l'atmosphère. Les résultats du tableau ayant été obtenus en milieu semi-contrôlé (lysimètres) en absence de plante (les phénomènes sont donc probablement exacerbés) il convient donc de ne leur accorder qu'une importance relative.

Cette fixation peut expliquer, du moins partiellement, l'effet régénérateur sur lesol des jachères enfouies, les fortes synergies sur le rendement du mil entre amendement organique et faible dose d'azote (9) et l'effet spectaculaire de l'enfouissement de paille en rizière (1).

Tableau 14 : Effet de l'enfouissement de matière organique en présence ou en absence d'engrais azoté, sur la fixation (ou les pertes) d'azote. Les résultats correspondants à l'enfouissement sont une moyenne de 4 traitements faisant intervenir diverses matières végétales. Résultats obtenus, en absence de culture, dans un sol sableux "dior" de Bamboey.

Dose matière organique	0		15 t/ha		30 t/ha	
Dose engrais	0	200 N	0	200 N	0	200 N
Gain ou perte d'azote kg/ha	0	- 10	+65	- 55	+75	- 30

La possibilité d'application de produits pétroliers ensemencés avec des bactéries fixatrices d'azote, en cours d'étude, ne devrait pas être écartée.

- CONCLUSION

L'amélioration des systèmes culturaux nécessite l'application simultanée d'un ensemble d'opérations culturales parmi lesquelles la fertilisation est déterminante pour l'obtention de hauts rendements. Nous avons montré comment la bonne (ou la mauvaise) application de ces opérations culturales connexes peut en majorer (ou minorer) l'efficacité et, ce qui est encore plus grave, comment une mauvaise conception de la fumure peut dégrader le sol. Cette mauvaise utilisation de la fumure est malheureusement courante encore dans les exploitations agricoles (doses et dates d'épandage non respectées par exemple) (13).

L'actuelle pénurie et la cherté des engrais exigent de mettre en pratique tous les moyens susceptibles d'économiser l'engrais et en particulier l'engrais azoté mais en respectant inconditionnellement, dans le cadre de conception de la fertilisation, toutes les raisons qui ont nécessité son utilisation. Ces moyens passent obligatoirement par la restitution maximale des résidus organiques par les labours d'enfouissement.

L'efficacité de la fertilisation est indissociablement liée au statut organique du sol. Mais la maîtrise de ce statut organique du sol qui conditionne nos chances de réussite en matière d'économie d'engrais implique, en préalable, une connaissance des mécanismes qui le régissent. C'est alors que nous voudrions insister sur la nécessité de sortir des sentiers battus et de rechercher des solutions originales dont l'aboutissement sera étroitement tributaire du développement de nos connaissances dans le domaine de la biologie du sol. Déjà les recherches de microbiologie écologique promettent d'être particulièrement fécondes dans le domaine de la fixation biologique de l'azote de l'air, non seulement chez les légumineuses mais aussi chez les non-légumineuses, notamment en région tropicale. Cependant le retard de nos connaissances en microbiologie écologique est particulièrement grand en milieu tropical où il constitue, en fait, un handicap pour la mise au point des techniques de mise en valeur des sols, notamment des sols sableux de l'Ouest Africain. Une de ces techniques serait l'application d'engrais bactériens au sol. Le but de ces engrais bactériens est d'accroître la teneur du sol en éléments nutritifs (exemple des bactéries solubilisatrices du potassium des silicates) et de protéger les plantes contre les pathogènes. Ces engrais peuvent être mis à la surface du sol ou introduits au niveau des graines ou des racines. Les résultats obtenus, quoique encore incertains laissent espérer légitimement que la prochaine décennie verra la mise en oeuvre des techniques plus sûres d'application des engrais microbiens en agriculture (5).

Il faut enfin souligner, que parallèlement à l'étude des mécanismes régissant l'interaction entre l'activité biologique et le statut organique, il est nécessaire de poursuivre et intensifier les recherches sur le problème général du maintien de la fertilité minérale par l'étude des mécanismes qui régissent les échanges ioniques dans les sols, compte tenu des caractéristiques de leurs colloïdes et des régimes hydriques.

C'est à ce prix que dans le cadre des systèmes culturaux intensifs vers lesquels on s'oriente peu à peu dans les pays tropicaux, on maintiendra la fertilité dont le niveau conditionne l'efficacité de l'engrais.

B i b l i o g r a p h i e

- 1- BEYE(G), 1974.
Etude de l'action de doses croissantes d'azote en présence ou en absence de paille de riz enfouie sur le développement et le rendement du riz sur sol argileux acide de Basse Casamance
IRAT.Sénégal Doc. ronéo.
- 2- BEYE (G.), 1974.
Etude comparative de l'action de la potasse et de la paille enfouie sur le développement et les rendements du riz sur sol argileux de Basse Casamance
Agron. Trop. in Press.
- 3- BLONDEL (D.), 1970.
Relation entre le "Manisme jaune" de l'arachide en sol sableux (Dior) et le pH, définition d'un seuil pour l'activité du rhizobium
Agron. Trop. 25 , 6-7, 549-595.
- 4- BOUYER (S.), 1968.
Recherches sur la matière organique dans les sols tropicaux
Isotopes and radiation in soil organic-matter studies.
Proceedings of a symposium AIEA Vienna 15-19 July 1968
- 5- DOMMERMUES (Y.), 1972.
Problèmes actuels de microbiologie et de biochimie soulevés par la mise en valeur des sols sénégalais.
IRAT/Sénégal Doc. ronéo, 30 p.
- 6- DOMMERMUES (Y.), 1972
La microbiologie du sol: évolution, intérêt agronomique
Doc. Centre de Pédologie biologique (CNRS) de Nancy N°280, 21 p.
- 7- DOMMERMUES (Y.), et MANGENOT (F.), 1970.
Ecologie microbienne du sol
Masson edit. 796 p.
- 8- GANRY (F.), 1974.
Etude de la décomposition d'apports organiques dans un sol ferrugineux tropical lessivé.
IRAT/Sénégal Doc. ronéo 30 p.
- 9- GANRY (F.) et BIDEAU (J.), 1974.
Action de la fertilisation azotée et de l'amendement organique sur la valeur nutritionnelle d'un mil Souma III
Agron. Trop. in press.
- 10- GANRY (F.) et GUIRAUD (G.), 1974.
Efficacité de l'engrais azoté en année sèche à Bambey. Rôle de la matière organique
IRAT/Sénégal Doc. ronéo 12 p.
- 11- GANRY (F.), 1973.
Premiers résultats sur l'utilisation de la N-lignine dans les sols ferrugineux tropicaux sableux du Sénégal.
IRAT/Sénégal - Doc. ronéo, 10 p.
- 12- GANRY (F.), 1974
Contribution à l'étude de la nutrition azotée du riz pluvial cultivé sur les sols hydromorphes (gris) de Casamance (Sénégal).
IRAT/Sénégal. Doc. ronéo 14 p.
- 13- MONNIER (J.), 1974.
Le travail dans l'exploitation sénégalaise.
IRAT/Sénégal. Doc. ronéo 68 p.

- 14- NICOU (R.) et CHOPART (J.L.), 1971.
Influence du labour et de l'engrais minéral sur le système racinaire du sorgho. Conséquences sur l'alimentation hydrique
Intern. Sorghum Symposium HYDERABAD 25-27 Oct. 1971
- 15- PIERI (C.), 1974
L'acidification d'un sol Dior cultivé du Sénégal et ses conséquences agronomiques
IRAT/Sénégal. Doc. ronéo. 13 p.
- 16- PIERI (C.), 1974.
L'acidification des terres de cultures exondées du Sénégal
IRAT/Sénégal Doc. ronéo. 39 p.
- 17- PIERI (C.) et NICOU (R.), 1973.
Fumure minérale de l'arachide. Remplacement de la 6-20-10 par la 8-18-27. Justifications agronomiques et socio-économiques
IRAT/Sénégal - Doc. ronéo. 20 p.
- 18- POCHIER (G.) et FABRE (H.), 1974.
Résultats de l'expérimentation multilocale et de l'application de la recherche au Sénégal. Campagne 1973-74
IRAT/Sénégal - Doc. ronéo. 43 p.
- 19- POULAIN (J.F.), 1974.
L'utilisation des résidus de récolte
IRAT/Haute-Volta - Doc. ronéo 16 p.
- 20- SIBAND (P.), 1974.
Evolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance.
IRAT/Sénégal. Doc. ronéo. 33 p.
- 21- SIBAND (P.), et DIAETA (S.), 1974.
Contribution à l'étude de fertilisation du riz pluvial en Casamance.
IRAT/Sénégal. Doc. ronéot. 29 p.
- 22- TOURTE (R.), 1974
Les recherches de l'IRAT/Sénégal. Synthèse 1973
IRAT/Sénégal. Doc. ronéot. 125 p.
- 23- Rapport IRAT, 1972.
Nécessité agronomique et intérêt économique d'une intensification des systèmes agricoles du Sénégal.
Doc. ronéot. 75 p.
- 24- Rapport IRAT/Sénégal, 1970
Etude et Amélioration du milieu physique du sol
Doc. ronéot. 40 p.



Paysans, vous souhaitez de meilleurs rendements
Alors n'oubliez pas que le sol est un capital vivant
Si bien vous le nourrissez, mieux il produira
Si trop vous le négligez, il s'épuisera

Paysans, vous ne désirez pas vous ruiner
Et léguer à vos enfants une terre "fatiguée"
Alors, apportez-lui chaque année de l'engrais
En fumure légère, votre récolte est assurée

En fumure forte, vous enrichissez votre terre
Et pouvez donc cultiver vos champs en jachère
En conséquence, votre production globale progresse
Et vous aurez moins à craindre la grande sécheresse

Fumure forte annuelle et phosphatage de fond
Paille enfouie dans le sillon d'un labour profond
Sont des techniques dignes de l'agriculteur prospère
D'un jeune pays dont l'économie est à parfaire

Francis GANRY