

**le recyclage
des résidus agricoles organiques
en afrique**



TABLE DES MATIERES

	Page
INTRODUCTION	v
DOCUMENTS TECHNIQUES	
L'emploi de la gadoue dans la production de legumes (Gérard Grubben)	5
Les résidus de récolte: pratiques traditionnelles et modernes de leur emploi en agriculture togolaise (M. Dossou)	17
Les principaux systèmes de culture traditionnelle au Congo (Désire Dzaba)	23
Gestion des résidus de récolte et économie de l'azote au Sénégal (F. Ganry et Y. Bertheau)	37
Le recyclage des matières organiques dans l'agriculture chinoise (R. Sant'anna)	55
Fixation d'azote chez les cyanobactéries libres ou en symbiose (Azolla): possibilités d'utilisation agronomique en Afrique tropicale (P.A. Reynaud)	63
Point de la recherche à l'IITA sur la fixation symbiotique de l'azote et son impact sur l'agriculture tropicale (K. Mulongoy)	
Travaux réalisés en Haute-Volta dans le domaine de la fixation biologique de l'azote (B. Delvaux)	97
Le développement de l'emploi de la fixation symbiotique de l'azote par l'introduction de nouvelles souches de rhizobium: expérience zaïroise (L. Kumidimata)	107
Les légumineuses en assolement ou en culture associée au Togo (M. Dossou)	115
Programme biogaz - compost (M. Sereme)	119
Emploi efficace d'engrais organiques et minéraux dans la production végétale au Togo (M. Rabiou)	129
Utilisation des résidus et recyclage des éléments nutritifs dans les systèmes de culture des tropiques humides de l'Afrique de l'ouest (G.F. Wilson et B.T. Kang)	137
L'entretien humique des sols tropicaux (résumé de cours) (J. Poulain)	149
Fertilisation des cultures en rotation (résumé de cours) (J. Poulain)	157
Utilisation des résidus en récolte (J. Poulain)	171

RAPPORTS DES PAYS

Cameroun

Congo (A. Nziefé)

Guinée (Facely Traore) 191

Haute-Volta (Moussa Sereme)

Mali (M. Kante) 201

Niger (Ibrahim Oumarou)

Rwanda 215

Togo (Lomé et environs) (R. Assogbavi Sossou) 219

Zaïre (Karotso Kakule) 225

ANNEXES

1. Programme des travaux 239

2. Liste des participants 242

3. Discours d'ouverture du ministre du développement rural 244

4. Discours du Dr. I. Konate, représentant de la FAO
au Togo 247

5. Recommandations 249

INTRODUCTION

Le séminaire sur le recyclage des matières organiques, organisé pour les pays francophones d'Afrique du 24 au 29 novembre 1980 par la FAO, sous les auspices de l'Agence suédoise pour le développement international et en coopération avec le Gouvernement togolais, faisait suite à celui organisé au Cameroun deux ans auparavant pour les pays anglophones. Il s'inscrivait dans une série d'activités en cours en Asie, au Proche-Orient et en Amérique latine, dans le but de porter à la connaissance des participants les avantages non négligeables de l'utilisation dans l'agriculture de ce qu'on considère généralement dans le continent comme des déchets inutilisables.

Des renseignements très intéressants avaient été réunis au cours d'un voyage d'études en Chine, et la FAO était en train d'exécuter, dans dix-huit pays d'Asie, un programme d'assistance en vue du développement de pratiques modernes de recyclage de matières organiques. On a estimé que les techniques y mises au point étaient susceptibles d'être transférées et adaptées aux conditions africaines.

Sous le concept de «recyclage des matières organiques» on regroupe un certain nombre de techniques qui sont de plus en plus appliquées selon les conditions locales. Par exemple:

- Compost. Le compost peut être préparé à partir de résidus domestiques, de déjections animales et humaines et de déchets végétaux, à condition de connaître les méthodes de sa préparation, assez simples en effet. L'utilisation des ordures urbaines constitue un cas spécial: à la ferme, la préparation de compost ne coûte rien, tandis que la transformation des ordures urbaines suppose des investissements importants d'équipement.

- Fixation biologique de l'azote. Il existe deux types de fixation biologique de l'azote: la fixation symbiotique par les légumineuses et les rhizobiums et la fixation non symbiotique, par exemple par les algues bleu-verte ou les azolla. Ces méthodes sont peu coûteuses et se révèlent assez utiles à l'agriculteur.

- Biogaz. La technique du biogaz permet d'obtenir deux matériaux extrêmement utiles: d'une part le méthane, gaz inflammable qui peut servir à la cuisine, pour l'éclairage et même pour alimenter de petits moteurs, et d'autre part des effluents de fabrication qui constituent d'excellents engrais organiques. Les technologies de fabrication du biogaz sont simples, et il existe des appareils peu coûteux, dont le plus petit convient aux besoins d'une famille rurale.

- Mulching et engrais vert. L'utilisation d'engrais organiques pour fertiliser la terre présente divers avantages: la matière première (différents types de déchets) ne coûte rien, il suffit de la ramasser et de la transformer avant de l'épandre sur le terrain, et le ramassage des déchets est salubre pour l'environnement et pour l'hygiène.

DOCUMENTS TECHNIQUES

L' EMPLOI DE LA GADOUE DANS LA PRODUCTION DE LEGUMES

par

Gérard GRUBBEN

Institut royal pour les régions tropicales, Amsterdam

SITUATION GENERALE DE LA PRODUCTION LEGUMIERE DANS LES PAYS TROPICAUX

La culture commerciale des légumes dans les pays tropicaux fournit, en fonction des conditions économiques, sociales et écologiques, une proportion allant de 40 à 60% de la quantité totale de légumes y consommés, l'autre moitié étant produite par les familles rurales pour l'autoconsommation. La croissance de l'urbanisation et la diversification des métiers créent une demande toujours plus importante pour ces légumes.

Les jardins de case sont fertilisés par les déchets de ménage, les ordures et parfois le fumier ou les déjections animales, qu'on entasse dans la cour en attendant de les répandre sur le sol soit sous forme de compost bien décomposé, soit comme une fumure organique plus ou moins fraîche. Beaucoup de maraîchers utilisent la gadoue de cette façon, car la culture intensive de légumes nécessite l'application d'une grande quantité de matières organiques, et si le fumier manque, leur seule ressource reste la gadoue. Ils aident ainsi la communauté à résoudre le problème des déchets, en même temps qu'ils augmentent leurs revenus et assurent un bon approvisionnement en légumes des marchés urbains.

On distingue deux groupes principaux de produits légumiers: les légumes très périssables, spécialement les légumes-feuilles (amarante, Corchorus, gboma, chou-feuilles, laitue, etc.) cultivés le plus souvent aux environs des villes, et d'autres espèces qui supportent le transport sur de longues distances et qui se conservent mieux (onions, gombo, chou, aubergine, piments, tomate...), souvent cultivées dans des régions plus éloignées, où le climat et les conditions écologiques sont plus favorables.

Comparés aux cultures des champs (céréales tubercules, coton, etc.) les légumes demandent une meilleure qualité chimique et physique du sol; à défaut le cultivateur n'obtiendra que des rendements faibles et un produit de qualité médiocre. Il en est particulièrement ainsi de la culture légumière très intensive aux environs des grandes villes.

2. VALEUR NUTRITIVE DES LEGUMES

Les légumes apportent à notre corps des vitamines et des sels minéraux, micro-nutriments qui sont essentiels pour notre croissance et notre santé. Les aliments de base nous apportent des calories et des protéines, mais ils sont pauvres en micro-nutriments, dont les besoins de la nutrition humaine sont fonction de nombreux facteurs tels que l'âge, le poids, l'état de santé, l'environnement et l'activité de l'individu. De toute façon, une consommation d'un minimum de 150 grammes de légumes par jour apporte normalement une quantité suffisante de vitamines et de sels minéraux, à condition que le tiers de ce total consiste en légumes à feuilles vertes. En plus, les légumes enrichissent le menu d'une certaine quantité de protéines de bonne composition, ce qui est important dans les régions où les aliments protéiques font défaut.

La consommation actuelle de légumes dans les pays tropicaux varie selon la région, la saison, et les habitudes alimentaires et les revenus des populations. Par pays, elle n'atteint que 50 à 110 grammes par jour. La santé publique exige donc une forte augmentation de la production, tant en surfaces, plantées qu'en rendements, afin d'approvisionner de façon adéquate les marchés urbains en légumes de bonne qualité à un prix raisonnable.

Le tableau no. 1 présente la composition de trois légumes prisés dans de nombreux pays tropicaux, avec une estimation de leurs rendements en matières nutritives. Il indique que l'amarante, comme tous les légumes à feuilles vertes en général, produisent une quantité de nutriments plus importante que la tomate, le concombre ou d'autres légumes à fruits charnus.

Le tableau no. 2 présente une estimation du nombre de personnes dont les besoins en micro-nutriments peuvent être couverts par une culture de tomates, d'amarante ou de concombres durant une année sur un hectare de terrain, en supposant que les légumes entrant dans le régime alimentaire couvrent tous les besoins en vitamines A et C, la moitié des besoins en fer, le tiers des besoins en calcium et le cinquième des besoins en protéines. Ce tableau démontre l'importance des maraîchers, et notamment des cultivateurs des légumes-feuilles, pour le régime alimentaire des habitants des villes,

3, FERTILISATION ET EXPORTATION D'ÉLÉMENTS MINÉRAUX PAR LES CULTURES MARAÎCHÈRES

On constate un rapport entre l'exportation de sels minéraux provenant du sol par une culture de légumes et les rendements et la valeur nutritive de ces légumes. Le tableau no. 3, qui indique le degré d'exportation de sels minéraux par la récolte de certains produits agricoles et horticoles, démontre que l'exportation par les légumes-feuilles est très élevée comparée à celle des autres cultures.

A part les cinq éléments majeurs N, P, K, Mg et Ca, plusieurs autres minéraux sont nécessaires à la plants et en même temps à l'homme. Ainsi, le soufre est un élément majeur dans la nutrition humaine, comme composante des acides aminés essentiels; la méthionine, la cystéine et la cystine. La protéine foliaire en est assez riche: les feuilles fraîches contiennent de 0,5 à 1,0 gramme de soufre par kg, et une récolte de 20 tonnes exporte de 10 à 20 kg de soufre.

Plusieurs autres éléments sont indispensables au développement des plantes: le fer, le zinc, le manganèse, le cuivre, etc., mais seulement en quantités très réduites; ils sont dits micro-éléments. Il faut souligner tout particulièrement l'intérêt du fer, micro-élément dans la plante qui est d'une importance majeure pour l'homme. Une carence de fer dans le sol est rare, mais beaucoup d'êtres humains dans les tropiques sont anémiques et manquent de fer à la suite de maladies parasitaires, telles que la malaria, la bilharziose et l'ankylostomiase. Cette anémie peut se guérir par la consommation d'aliments riches en fer. Les légumes-feuilles possèdent une haute teneur en fer, de 10 à 60 mg par kg. Une récolte de 20 tonnes enlève au sol de 0,2 à 1,2 kg de fer, du sang renforcé pour des milliers de sujets.

LA GADOUE COMME FUMURE ORGANIQUE POUR LES LEGUMES

On a déjà noté que les entreprises horticoles les plus intensives sont concentrées dans la proximité des villes. Ces maraîchers professionnels produisant beaucoup de légumes-feuilles: ils ont besoin d'un sol qui offre en même temps une bonne qualité physique et une grande richesse en sels minéraux fertilisants, Ces sols sont très rares ou inexistant, à moins que le cultivateur ne crée ces qualités par des apports importants de matières organiques et d'engrais chimiques, c'est-à-dire, en fumant son terrain,

Outre qu'elle constitue une source riche de minéraux, la fumure organique améliore la capacité de rétention d'eau, le drainage et l'aération du sol. Elle retarde le lessivage de sels minéraux et l'érosion superficielle, et facilite les labours. Un avantage extrêmement important qu'elle offre la matière organique réside en ce qu'elle diminue l'incidence de maladies phytosanitaires présentes dans le sol, notamment le flétrissement bactérien et les nématodes,

Les gadoues des villes, ou ordures ménagères, sont utilisées traditionnellement dans nombre de pays du sud asiatique pour la fertilisation des parcelles horticoles; la pratique est moins répandue en Afrique, et moins encore en Amérique latine. On les emploie pures ou mélangées, au fumier du bétail, aux excréments, à la vase d'égoûts, et à d'autres déchets organiques. Parfois, on les utilise en l'état presque frais, après avoir enlevé les parties non décomposables, ailleurs on les applique après une période de décomposition plus ou moins prolongée.

La composition de la gadoue des villes tropicales diffère de celle des villes en zone tempérée à forte industrialisation. La fraction de matières non-décomposables telles que les matières plastiques et les boîtes de conserve (5 à 15%) est moins importante que cette fraction dans les pays industrialisés (30 à 40%); le poids spécifique est plus élevé; le rapport C/N est beaucoup plus réduit à cause de la moindre proportion de papier et la présence d'urine et de matières fécales; la teneur en métaux lourds toxiques est réduite. Le tableau no. 4 indique que la teneur en éléments fertilisants de la gadoue des tropiques est plus élevée que celle des pays de zone tempérée.

Les maraîchers en zone tempérée utilisent des quantités importantes d'engrais chimiques, de 500 à 1500 kg par ha, afin de maintenir dans le sol un niveau d'éléments fertilisants permettant de couvrir les besoins de plusieurs récoltes très exigeantes et rapprochées. Ils appliquent également des quantités considérables, de l'ordre de 30 à 60 tonnes par ha, de fumures organiques, en vue notamment d'améliorer la qualité physique du sol.

Cependant, la succession des récoltes légumières est encore plus rapide dans le maraîchage intensif tropical, et ses rendements potentiels sont aussi élevés. Pourtant, les rendements réalisés sont souvent faibles, les cultivateurs ne disposant pas de quantités suffisantes d'engrais, coûteux, ni des quantités indispensables de fumure organique. Ici, la matière organique joue un double rôle: son apport d'éléments fertilisants est aussi important que sa capacité d'améliorer la qualité physique du sol. Il faut disposer d'une dose minimum de 25 à 50 tonnes de fumure organique par hectare pour chaque récolte de légumes afin de remplacer les éléments fertilisants prélevés du terrain par la récolte précédente. Beaucoup de maraîchers installés près des grands centres dépendent de la gadoue, ne pouvant disposer que de quantités marginales d'autres matières organiques. Une conclusion générale que l'on pourrait tirer du tableau, no.3 est la suivante: à défaut de l'application d'engrais chimiques, au moins un kilogramme de gadoue est nécessaire à la production d'un kg d'un légume charnu, et deux kg de gadoue à celle d'un kg de légume-feuilles. Un danger important qui se présente lors de l'emploi de la gadoue est l'infection du cultivateur ou des légumes par des organismes pathogènes, originaires surtout des matières fécales. Plus vite on enlève la gadoue des rues et des marchés, moins grave est ce danger pour la population

urbaine: une fois la gadoue enfouie dans la terre ou mise en compost, le risque de contamination devient minime. La consommation de légumes-feuilles crus en salade (laitue, cresson) présente un risque plus grand, car les cultures de ces légumes sont parfois irriguées par l'eau polluée des égouts. La présence sur les légumes de pesticides très toxiques pour l'homme est d'ailleurs de loin le plus grand risque encouru par le consommateur.

Les frais élevés du transport de gadoues fraîches ou compostées est le plus grand handicap qu'elles présentent au cultivateur. On constate que la gadoue est rarement utilisée à plus de 20 à 25 km des lieux de ramassage, ces frais devenant alors excessifs.

5. L'EMPLOI DE LA GADOUE AU BENIN

Plusieurs groupements de maraîchers aux environs des grandes villes d'Afrique utilisent des gadoues en tant que fumure. On étudiera ici les cas des maraîchers de Porto-Novo et de Cotonou, au Bénin, qui produisent des légumes-feuilles (fotètè (=amarante), avounvo (=celosia), nehoun (=corchorus), laitue, poireau, etc.) et des légumes charnus (haricots verts, poivrons, aubergines, carottes, concombres). Ils exploitent deux types de sol: un sol ferrallitique, lessivé et appauvri, appelé «terre-de-barre», et des sols littoraux très sableux. Entre 1968 et 1974, le Centre Horticole de Ouando a procédé à des essais de la gadoue, fumure organique.

Les maraichers apprécient fort la gadoue ramassée par les camions de la voirie. Ils ont réussi, en fumant par des doses massives de gadoues pendant des années, à convertir des sols très pauvres en sols horticoles, riches en éléments fertilisants et d'une structure excellente (voir tableau no. 5) Des expériences sur de nouvelles parcelles de sols sablonneux et pauvres ont confirmé que, à l'aide de grandes quantités de gadoue (de 100 à 200 tonnes par hectare et par an), ce processus n'exige que de 4 à 5 ans, mais qu'il est réversible si l'on arrête le traitement.

L'amarante, légume-feuilles important, poussant bien sur les sols fumés à la gadoue fraîche, les cultivateurs en enfouissent des doses de 25 à 100 kg par planche de 10 m², ou bien ils en appliquent des quantités plus importantes (de 150 à 200 kg par planche) devant servir à 3 ou 4 cultures successives, Après une première récolte d'amarante, d'autres plantent des légumes qui supportent moins bien la gadoue trop fraîche (chou, haricots verts, carottes). Il est remarquable que ces légumes ne sont pratiquement pas affectés par les maladies transmises par le sol.

Le prélèvement d'éléments fertilisants par l'amarante est élevé. La plante se développe très vite, de sorte qu'elle est très utile aux essais de fumure. On a procédé à des essais aux champs en même temps qu'à des analyses in vitro. Le tableau no. 6 illustre l'exportation de trois cultures successives d'amarante, récoltées par arrachage à des intervalles de 4 semaines, sur un sol très pauvre. Cet essai montre bien l'influence positive de la gadoue sur les rendements.

Des essais décrits en détail par Grubben (1976), on peut tirer les conclusions suivantes:

1. la gadoue fraîche ramassée par la voirie constitue pour l'amarante et d'autres légumes une bonne fumure organique, comparable au fumier de vache ;

2. l'effet des engrais chimiques est renforcé lorsqu'on les utilise en même temps que la gadoue, mais lorsqu'on fume avec des quantités-massives de gadoue (au-dessus de 50 à 100 tonnes per hectare), l'effet des engrais descend à un niveau insignifiant;
3. des effets dépressifs par l'immobilisation d'azote n'ont pas été constatés.

Considérant les résultats de ces expérimentations, on a fait les recommandations suivantes à la commune et aux agents de la vulgarisation rurale:

1. la commune organiserait l'approvisionnement des cultivateurs en gadoue, ou leur faciliterait son achat; les maraîchers payeraient une indemnité de transport ne devant pas dépasser les frais supplémentaires occasionnés par le transport de l'endroit de décharge habituel aux lieux de livraison;
2. les matières non-décomposables présentes dans la gadoue (matières plastiques, fer, pierres, verre) seraient retirées par les cultivateurs et enlevées par les camions de la voirie;
3. les cultivateurs devraient appliquer au moins 25 kg (un grand panier de gadoue) par planche de 10 m² par culture en sol riche, et 50 kg en sol pauvre, ces quantités pouvant être doublées pour les cultures très exigeantes (amarante);
4. ils peuvent administrer environ 400 g par planche d'engrais NPK (10-10-20) en complément de la gadoue.

6. POUPOUR CONTRE LE COMPOSTAGE DES GADOUES

On a noté que les maraîchers au Bénin enfouissent la gadoue telle qu'elle est ramassée, sans compostage préalable. Cette gadoue «fraîche» est constituée d'un mélange de matières qui sont entassées pendant plusieurs semaines dans les rues, de sorte que les couches inférieures sont plus ou moins fermentées et décomposées. Une fraction importante (de 50 à 80%) de balayures de terres fines de terreau présente l'avantage d'absorber les urines les excréments et les éléments libérés des matières organiques. Les débris organiques plus grossiers, les feuilles d'emballage, les pelures, etc, créent un effet plus durable en ce qu'ils libèrent plus graduellement les éléments fertilisants.

Le rapport C/N très bas (< 20) en même temps qu'une température du sol élevée et une accélération de la fermentation, grâce aux arrosages réguliers, a pour résultat de réduire, voire d'éliminer, l'immobilisation de l'azote. Koma Alimu, Soe Agnie et Janssen (1976) supposent que la fraction «terreau» libère une quantité suffisante d'éléments fertilisants, notamment de l'azote et du phosphore, pour contrebalancer l'effet organique grossière. Ainsi s'expliquent les bons résultats que les maraîchers obtiennent avec la gadoue fraîche.

Pendant les années 1965-1970 le Service de l'Agriculture a cherché à convaincre les cultivateurs aux environs de Forto-Novo d'avoir recours au compostage à base de déchets organiques, tels que les gadoues. On a procédé à un essai de fabrication de ce compost, accompagné d'analyses chimiques à chaque phase, afin d'évaluer ce procédé. Le compost était préparé selon la méthode aérobie décrite par Wilson (1948) pour l'Afrique de l'Est, utilisant

4 tas de gadoue et deux retournements à la main. Le compost obtenu après sept mois (voir tableau no. 7) avait une composition et une structure excellente, mais sa qualité fertilisante était un peu inférieure à celle de la gadoue fraîche.

Un grand inconvénient de ce procédé est la perte considérable d'éléments fertilisants, calculé à 39 % de N et 20% de K, et la perte de 42 de C, encore qu'un système de compostage mieux adapté à la nature de cette gadoue (rapport C/N bas, grande fraction de terreau) aurait pu réduire ces pertes. Mais le plus grand inconvénient de la fabrication de ce compost était le coût de la main d'oeuvre (environ cinq jours par tonne) ce qui avait pour résultat de tripler son coût par rapport au matériel non composté.

De toute façon, les cultivateurs au Bénin avaient bien raison d'utiliser la gadoue fraîche, compte tenu des conditions actuelles.

Quelles recommandations peut-on formuler à l'intention de communes qui se trouvent dans des situations analogues ?

1. Il est dans l'intérêt de la population urbaine d'être bien approvisionnée en légumes, et dans l'intérêt des maraîchers professionnels de disposer d'un apport régulier de fumures organiques, Il est donc utile pour tous que les gadoues soient recyclées en vue de la production de légumes ou d'autres produits agricoles.
2. L'éloignement des ordures de la ville étant la responsabilité de la commune, il n'est pas justifiable d'imposer aux maraîchers le coût d'un service de voirie. Mieux vaut subventionner l'emploi de la gadoue ou du compost, comme c'est le cas pour les engrais chimiques dans plusieurs pays.
3. Si on estime n'avoir pas à craindre des maladies occasionnées par un compostage, on pourrait procéder comme suit (voir Oosthoek c.s. 1980):
 - a) criblage des gadoues, avec ramassage à la main des grosses parties non décomposables; un crible de 10 à 12 mm pourrait séparer la fraction de terreau (environ 80%);
 - b) moulage de la partie organique grossière;
 - c) mélange des deux fractions;
 - d) vente aux cultivateurs.
4. Si les risques de contamination sont jugés trop élevés, on pourrait poursuivre, après l'opération mélange c), de la façon suivante:
 - d) entasser en tas allongés; bien arroser si nécessaire;
 - e) après une semaine environ, lorsque la température aura atteint au moins 70°C, retourner les tas en portant les couches extérieures à l'intérieur;
 - f) après une semaine, le compost est prêt à être distribué.

TABLEAU 1

Tomate, concombre et amarante : Teneur de nutriments essentiels dans 100 kg de produit comestible (FAO 1968) et production annuelle d'éléments nutritifs en kg par ha, basée sur 80 tonnes de produit comestible par an

	Tomate		Concombre		Amarante	
	teneur	kg/ha	teneur	kg/ha	teneur	kg/ha
Matière sèche	6,5 g	5200	4,9 g	3920	16,0 g	12800
Carotène	0,5 mg	0,4	trace	trace	5,7 mg	4,6
Fer	0,6 mg	0,5	0,5 mg	0,4	8,9 mg	7,1
Calcium	10 mg	8	13 mg	10	410 mg	330
Vitamine C	26 mg	21	16 mg	13	64 mg	51
Protéine	1,0 g	800	0,8 g	640	4,6 g	3680

TABLEAU 2

Tomate, concombre et amarante : nombre de consommateurs dont les besoins en certains éléments nutritifs peuvent être couverts par un ha de culture

	FAO/WHO ^{1/} besoins		Contribution de légumes par an	Nombre de consommateurs/ha/an		
	par jour	par an		Tomate	Concombre	Amarante
Carotène	1,5 mg	0,5 g	0,5 g	800	100	9200
Fer	9 mg	3,3 g	1,7 g	290	240	4180
Calcium	500 mg	183 g	61,0 g	130	160	5410
Vitamine C	30 mg	11,0 g	11,0 g	1910	1180	4640
Protéine	37 g	13,5 kg	2,7 kg	300	240	1360

^{1/} Référence homme de 65 kg.

TABLEAU 3

Exportation d'éléments fertilisants du sol par des cultures
différentes et apport par 50 tonnes de gadoue

Culture	Produits prélevés	Période (mois)	Récolte comestible (t/ha)	Exportation d'éléments (kg/ha)					
				N	P	K	Ca	Mg	
1. riz	panicule avec graines	4	4	par récolte	40	11	9	10	8
				par an	120	33	27	30	24
2. manioc	tubercules	9	40	par récolte	146	16	176	24	6
				par an	195	21	235	32	8
3. haricots	gousses et graines	4	4	par récolte	166 *	2	9	2	2
				par an	498 *	6	27	6	6
4. tomate	fruits	5	30	par récolte	104	12	121	6	9
				par an	250	29	290	14	22
5. chou		4	20	par récolte	67	10	74	14	3
				par an	201	30	222	42	9
6. épinard	feuilles et tiges	2	18	par récolte	101	15	42	22	10
				par an	606	90	252	132	60
7. amarante	feuilles et tiges	2	25	par récolte	124	23	291	76	41
				par an	744	138	1746	456	246
Fertilisation avec 50 t de gadoue :									
APPORT D'ELEMENTS					164	27	135	312	42

* surtout azote atmosphérique

Sources : 1. De Geus, 1973; 2. Jacob & von Uexküll, 1963;
3-6. Knott, 1966; 7-8. Grubben, 1976.

TABLEAU 4

Macro-éléments dans le compost de gadoue des Pays-Bas (n=4) et dans la gadoue
partiellement décomposée de l'Afrique du Nord et de l'Ouest (n=8)

Eléments	Compost des Pays-Bas		Gadoue des tropiques	
	% matière sèche	kg/50 tonnes	% matière sèche	kg/50 t.
N	1,11	389	1,18	413
P	0,23	81	0,34	119
K	0,50	175	0,68	238
Ca	2,11	739	4,60	1610
Mg	0,20	70	0,40	140
S (de SO ₄)	0,13	46	0,28	98

Source: Division des Sols, Institut Royal pour les Régions Tropicales, Amsterdam

TABLEAU 5

Analyses d'un sol sableux pauvre (0-15 cm) utilisé pour cultures vivrières (manioc) et d'un sol de cultures maraichères, amélioré par la gadoue

	sol sableux	sol amélioré par la gadoue
pH H ₀	5,4	7,5
CEC (capacité d'échange)	2,6	26,9
bases échangeables (meq/100 g)	K 0,08 Ca 1,00 Mg 0,13 Na 0,02 Total 1,23	0,63 18,80 3,97 0,02 23,42
P ₀ - Olsen (ppm)	6	554
% C (Walkley & Black)	0,38	3,03
% N (Kjeldahl)	0,03	0,43

Source: Schelhaas, 1976.

TABLEAU 6

Exportation d'éléments fertilisants par trois récoltes d'amarante en trois mois, en kg/ha, d'une terre ferrallitique fumée à la gadoue et à l'engrais NPK (10-10-20)

Traitements		matière sèche rendements kg/ha	exportation				
gadoue t/ha	engrais kg/ha		N	P	K	Ca	Mg
0	0	419	8,3	0,50	11,2	4,7	3,7
0	400	762	17,5	1,37	21,2	10,4	4,3
0	800	733	17,7	1,18	26,1	8,3	4,5
50	0	1.176	25,2	3,57	55,0	18,5	12,1
50	100	1.613	42,2	4,27	62,3	26,7	15,2
50	800	1.827	43,8	3,81	68,3	29,2	15,5
100	0	1.758	40,2	3,23	74,3	28,2	19,2
100	400	1.941	43,0	5,44	85,1	33,6	19,2
100	800	2.519	55,2	7,91	114,1	36,1	23,4
Moyenne		1,416	32,6	3,48	57,5	21,7	13,1
Pourcentage		100	2,30	0,25	4,06	1,54	0,93

Source: Grubben, 1976

TABLEAU 7

Caractéristiques physico-chimiques de la gadoue pendant
la décomposition

matériel	gadoue n=4	1° retourne- ment n = 4	2° retourne- ment n = 1	3° retourne- ment n = 2
poids/volume	t.m ⁻³ 0,33	0,50	0,75	1,13
eau	% 25	25	20	20
poids sec	t 11,5	13,0	13,6	13,6
fractions	%			
1. terreau < 2 mm	49,5	49,5	61,4	73,6
2. matière organique bien décomposable	43,6	42,1	35,4	20,7
3. matière organique dure	3,7	5,0	2,1	2,0
4. cailloux, plastique, fer, etc.	3,2	3,3	1,0	3,7
analyse chimique				
pH-H ₂ O	7,8	7,7	8,0	7,5
%N ² (Kjeldahl)	1,11	1,25	0,97	0,73
%C (Walkley & Black)	11,59	12,45	9,44	5,79
C/N	10,4	10,0	9,7	7,9
P (ppm)	1.520	1.790	1.596	1.146
K (ppm)	6.310	6.115	3.727	4.323
Ca (ppm)	16.531	13.801	15.728	14.054
Mg (ppm)	1.668	2.022	1.927	1.416

REFERENCES

1. FAO, 1968, Food Composition Table for Use in Africa, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), U.S, Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service : 306 p.
2. Geus, J.G, de, 1973. Fertilizer guide for the tropics and subtropics, Centre d'Etude de l'Azote, Zurich : 774 p.
3. Gzubben, G,J.H,, 1976, The cultivation of amaranth as a tropical leaf vegetable. Department of Agricultural Research, Royal Tropical Institute, Amsterdam, Communication 67 : 207 p.
4. Jacob,, Uexküll, H,v,, 1963, Fertilizer use. Nutrition and manuring of tropical crops. Verlagsgesellschaft für Ackerbau, Hannover : 617 p,
5. Knott, J.E., 1966. Handbook for vegetable growers. John Wiley & Sons, New York, London, Sydney : 245 p,
6. Koma Alimu, F,X., Soe Agnie, J.E,,Janssen, B,H., 1977. Evaluation of municipal refuse of Dahomey Bénin as an organic manure, Int, Atomic Energy Agency, Vienna; Soil, Organic Matter Studies, Vol. II : 277-287.
7. Oosthoek, J. c.s, 1980. Refuse composting and compost, Proceedings VAM/KIT Workshop on Solid Waste Disposal and Utilization in Developing Countries, Oct. 13-17, 1980, (Proceedings, in print) Royal Tropical Institute, Amsterdam.
8. Schelhaas, R.M., 1978, Les sols à vocation horticole du Sud Est Bénin et leur Fumure à la gadoue, Department of Agricultural Research, Royal Tropical Institute, Amsterdam : 77 p.
9. Wilson, F.B,, 1948, A system of composting farm and village waste. E. Afr. Agric. J. 14 : 82 5.

LES RESIDUS DE RECOLTE : PRATIQUES TRADITIONNELLES
ET MODERNES DE LEUR EMPLOI EN AGRICULTURE TOGOLAISE

par

M. DOSSOU
I.R.C.T. TOGO

LES RESIDUS DE RECOLTES : PRATIQUES TRADITIONNELLES ET MODERNES DE LEUR EMPLOI EN AGRICULTURE TOGOLAISE

I. INTRODUCTION

Le maintien de la fertilité de sols cultivés sous climat tropical présente un grave problème auquel est constamment confronté l'agriculteur.

Dans nos régions, lorsqu'il est encore possible, il tente de le régler par la pratique d'une agriculture itinérante suivie d'une longue jachère (10 à 20 ans). La durée de ces jachères varie d'une région à l'autre à l'intérieur d'un même pays; elle est en rapport étroite avec la densité de population, Au Togo la population est passée de 1.950.000 en 1970 à environ 2.600.000 habitants en 1980. Avec une densité de l'ordre de 350 habitants au km² dans les pays Kabyè (Région Kara) et le pays Wouatchi (Région maritime) la pratique de la jachère est donc vite limitée, et la reconstitution de la fertilité des sols compromise. Dans certaines situations, la jachère disparaît complètement au profit d'une culture continue non fertilisée, d'où l'on tire quelques productions aux rendements dérisoires,

Une telle situation dévient très préoccupante pour les agronomes, Il fallait rapidement étudier la question et proposer des moyens de maintenir et d'améliorer la fertilité des sols dans le système traditionnel de culture sans trop perturber les habitudes des agriculteurs au risque d'en bloquer l'évolution progressive vers un système intensif. Des jachères de courte durée avec plantes améliorantes, des rotations rationnelles, la fertilisation minérale, la restitution des résidus de récolte et les pratiques culturales conservatrices ont été étudiées par diverses structures de recherche, et leur mise en application doit permettre de régler le problème du maintien de la fertilité et d'assurer une bonne production à nos agriculteurs.

II. PRATIQUES TRADITIONNELLES DE RECYCLAGE DE RESIDUS DE RECOLTE

Dans les pratiques traditionnelles la restitution de résidus de récolte n'est pas systématiquement intégrale. Les raisons en sont très simples, Dans l'agriculture traditionnelle, le travail de la terre est essentiellement fourni par l'énergie humaine. Les moyens d'intervention (houe, daba) ont un impact très limité sur le sol et sont incapables d'enfouir correctement les résidus de récolte (feuilles, pailles, chaumes et diverses tiges). En raison de ses moyens faibles et limités, le paysan togolais, comme celui de la plupart des pays africains, a recours au feu pour réduire l'importante masse végétale qu'il ne peut enfouir manuellement. En dehors du feu, cependant, certaines pratiques culturales lui permettent d'enfouir ces résidus mais ici, le facteur temps et l'activité microbienne interviennent pour beaucoup.

Le brûlis est généralement pratiqué lors d'un défrichage ou d'une reprise de jachère naturelle, et dans le cas de résidus de décomposition très lente. Les végétaux sont laissés sur le champ; séchés, ils sont mis en tas en endains, puis incinérés. Les résidus de plantes cultivées (il s'agit essentiellement de pailles de riz, des tiges de manioc, des cannes de sorgho et des tiges de cotonnier), sortis des champs, sont brûlés un peu avant la préparation du sol.

Ils peuvent également être affectés à des usages domestiques comme bois de chauffe (tiges de coton, de manioc et de sorgho) ou comme matériau de construction (paille de riz et cannes de sorgho). Dans ce dernier cas la perte est énorme, tant sur le plan organique que minéral. Nous indiquons ci-dessous les exportations intégrales en kg/ha de quelques cultures,

Estimation des exportations :

	Panicules			Pailles			Total		
Sorgho	N	P 0	K 0	N	P 0	K 0	N	P 0	K 0
1600 kg/ha	30	6 ² 5	10	22	5 ⁵	88	52	11 ⁵	98
Coton	coton graine			tiges + carpelles					
1200 kg/ha	N	P 0	K 0	N	P 0	K 0	N	P 0	K 0
	21	17 ⁵	29	17	10 ⁵	30	38	27 ⁵	39
Arachide	gousses			fannes					
1500 kg/ha	N	P 0	K 0	N	P 0	K 0	N	P 0	K 0
	28	3 ⁵	7	17	3 ⁵	18	45	6 ⁵	25
Maïs	graines			paille					
1500 kg/ha	N	P 0	K 0	N	P 0	K 0	N	P 0	K 0
	28	8 ⁵	5	28	11 ⁵	62	56	19 ⁵	66

Malgré ces pertes considérables, l'agriculteur n'a pas de choix, L'action du feu, quoique brutale, est encore préférable à une exportation intégrale, car il reste toujours une portion de résidus non brûlée qui se décompose lentement et s'enfouit avec les façons d'entretien des cultures. La plante récupère d'ailleurs les sels minéraux : potassium et phosphore des cendres, l'azote étant parti en fumée.

III. PRATIQUES CULTURALES FAVORABLES AU RECYCLAGE DES RESIDUS DE RECOLTE

Contrairement à l'action brutale du feu, le mulch et le paillage sont des pratiques plus douces et plus lentes de restitution de résidus de récolte sans entraver considérablement la culture en place. Les tiges de maïs, de sorgho, les fannes d'arachide, d'haricot ... sont déposées entre les lignes de semis. Sous l'action du climat, des termites et des micro-organismes leur décomposition s'effectue, se terminant généralement avant la reprise de la culture suivant celle qui supporte le mulch ou le paillage.

Cette méthode a l'avantage de restituer au sol au moins 50% des exportations. Elle se généralise dans toutes les régions du Togo, sur le conseil des sociétés de développement. Il est très courant dans le sud, caractérisé par deux cycles de culture, de voir les agriculteurs disposant les tiges de maïs du premier cycle de culture entre les lignes de semis de coton qui lui succède au deuxième cycle. En moins de dix mois, leur décomposition

est presque assurée et le terrain est prêt pour recevoir une nouvelle culture de maïs au cours de l'année suivante, dans une rotation maïs-coton, L'enfouissement s'opère manuellement sans trop de difficultés. Cette pratique, qui résulte des études de systèmes de production démarrées sur les stations de recherche et sur les points d'appui expérimentaux implantés dans les différentes régions pédoclimatiques du pays, constitue un net progrès et une meilleure exploitation des résidus de récolte.

L'une des bases fondamentales de l'étude des systèmes de production est le maintien de la fertilité du sol cultivé. Ces études sont suivies au début de chaque campagne agricole par des analyses de sol et du niveau des rendements des cultures successives de la rotation, dont le type est défini comme suit pour les zones à une seule saison de pluie:

- 1ère année : arachide
- 2ème année : coton fertilisé
- 3ème année : maïs fertilisé + niébé
- 4ème année : sorgho cycle long + un complément azoté,

Le cycle tout entier a lieu en culture continue avec restitution des résidus, sauf pour le coton, dont les tiges sont brûlées par mesure sanitaire.

Un problème est pourtant présenté par le sorgho à cycle long, dont les tiges sont plus dures et par conséquent plus lentes à se décomposer. Dans les cultures manuelles, ces tiges sont brûlées ou exportées pour les usages domestiques déjà évoqués. Le problème du sorgho local à cycle long peut être réglé dans le cadre d'un système de culture attelée ou de mécanisation motorisée. Une étude en cours à Tchamba, dans la région de Sokodé, permettra, on l'espère, de résoudre la difficulté. Cette étude n'en est qu'à sa quatrième année, et il faudrait attendre au moins la fin du deuxième cycle de rotation pour avoir des résultats analytiques comparables.

On démarre le stylosanthès sous sorgho dans une rotation du type suivant, établi sur 12 hectares avec restitution complète des résidus de récolte :

- 1ère année : stylosanthès
- 2ème année : stylosanthès
- 3ème année : maïs
- 4ème année : arachide
- 5ème année : coton
- 6ème année : sorgho

Le sorgho dispose ainsi de deux ans pour se décomposer pendant que le stylosanthès se développe. Ce système devra être suivi tant sur le plan des rendements que sur celui de l'évolution de la teneur des éléments minéraux et organiques du sol.

On l'a vu, la restitution des résidus de récolte ne paraît pas aisée en culture manuelle. Elle est relativement plus facile en culture attelée, car l'enfouissement se fait mieux. Cette culture, étape intermédiaire entre la culture manuelle et la culture motorisée, en est encore au stade de démarrage, mais elle a rencontré un plus grand succès dans les zones soudanaises. De gros efforts sont déployés en vue de son développement. Il est certain qu'en agriculture motorisée, la restitution de résidus de récolte se fera encore mieux.

IV. PRATIQUES MODERNES DE RECYCLAGE DE RESIDUS DE RECOLTE

Les expériences dans ce domaine ne sont pas nombreuses; elles sont limitées aux Stations de recherche et aux grandes exploitations agricoles privées.

Depuis plus de quatre ans, les efforts du gouvernement ont abouti à la création d'une Société mixte d'exploitation de matériel agricole. Il s'agit de matériel de défrichage, de préparation du sol et de semis. Sa location est d'un prix assez abordable: de 8 à 12.000 francs CFA l'hectare labouré et pulvérisé. Avant les labours, tous les résidus de récolte sont broyés au moyen d'un matériel mécanique du type Gyrobroyeur. Les particules broyées sont ensuite enfouies avec le couvert végétal par un labour de 20 à 30 cm de profondeur,

Dans ce cas, la restitution est totale. Actuellement, on ne dispose pas d'éléments analytiques permettant de démontrer ses effets. Des essais en ce domaine sont en cours sur la station de l'Institut de recherches du coton et des textiles exotiques où la restitution des tiges de coton est particulièrement suivie. Les expériences mettant en oeuvre les pratiques modernes de restitution de résidus de récolte méritent d'être suivies dans d'autres situations pédoclimatiques afin d'en mesurer tous les effets sur le sol et sur le maintien de la fertilité.

V. CONCLUSIONS

Malgré certains inconvénients non évoqués ci-dessus (la matière organique étant un excellent support pour les germes pathogènes et pouvant contribuer au blocage des éléments fertilisants dans les sols où elle a tendance à s'accumuler par suite d'un taux de minéralisation insuffisant), la matière organique demeure cependant le meilleur régulateur de la fertilité des sols. La restitution des résidus de récolte, bien menée, contribue non seulement à favoriser le maintien de la fertilité sur le plan agronomique, mais encore à réduire la quantité d'engrais à apporter aux cultures et par là, sur le plan financier, elle permet de réduire les dépenses des agriculteurs. Ce gain peut être considérable, surtout au prix actuel des engrais le plus souvent importés. Tout en réduisant les dépenses occasionnées par les engrais minéraux, la pratique de la restitution peut permettre d'augmenter les rendements et par conséquent les revenus de l'agriculteur.

LES PRINCIPAUX SYSTEMES DE CULTURE
TRADITIONNELLE AU CONGO

par

Désiré DZABA

Centre de Recherches Agronomiques de Loudima - CONGO

I. INTRODUCTION

La République Populaire du Congo couvre une superficie de 342000 km². On estime à 8 200 000 hectares, soit 25% de la superficie totale, la surface agricole utile. D'après les dernières enquêtes agricoles du Ministère de l'économie rurale, près de 350 000 hectares seulement sont cultivés annuellement, dont 340 000 hectares (97% de la surface totale cultivée) sont occupés par les cultures vivrières. Une précision s'impose : 93 % de la superficie occupée par les cultures vivrières sont exploitées avec les systèmes de culture traditionnelle.

Ces quelques chiffres dénotent de manière éloquent l'importance de l'agriculture traditionnelle au Congo. La présente note n'a pas la prétention d'être complète, mais elle permet d'attirer l'attention des responsables du développement agricole du Congo, à qui incombe la mission de réhausser la production agricole nationale avec des moyens dérisoires, sur la nécessité de considérer l'agriculture traditionnelle comme base de la promotion agricole au Congo.

Ainsi donc, après avoir défini dans les grandes lignes les conditions climatiques, la végétation et les catégories des sols du Congo, on exposera les grandes caractéristiques de l'agriculture congolaise, en mettant en relief les trois systèmes de culture traditionnelle les plus couramment rencontrés. On proposera enfin certaines actions en vue de l'amélioration de ces systèmes.

II. LE CLIMAT

1. Les saisons. La pluviométrie, comme partout en Afrique équatoriale, est l'élément le plus caractéristique du climat. On distingue deux types de saisons: la saison des pluies et la saison sèche.

La saison sèche est caractérisée par des pressions relativement élevées, des températures relativement basses, l'absence de nuages à développement vertical mais un ciel généralement couvert et des précipitations très réduites. La durée de cette saison, liée à l'extension continentale de l'air atlantique, sera évidemment plus importante pour les régions océaniques que pour l'intérieur du pays : 4 à 5 mois à Pointe-Noire et Loubomo, tandis qu'à Ouessou et Souanké, elle ne s'identifie que du fait de la faiblesse relative des pluies.

La saison des pluies est caractérisée par un ciel de nuages à développement vertical et des pluies abondantes et fréquentes.

2. Les températures sont relativement élevées sur tout le pays, mais selon les isothermes moyennes annuelles, il existe une zone plus fraîche sur les plateaux Batéké et Koukouya (moyenne annuelle inférieure à 23°) et dans le nord-ouest du pays. La zone la plus chaude est la cuvette congolaise (moyenne annuelle supérieure à 26°).

Comme pour toute la zone équatoriale, les courbes de températures annuelles présentent un maximum absolu en avril et un maximum relatif en octobre, un minimum absolu en juillet et un minimum relatif en novembre ou en décembre.

Les écarts thermiques sont assez faibles et ne dépassent pas 5° .

Le maximum absolu est de 38,9°, atteint en mars 1943 à Impfondon; le minimum absolu, atteint en juillet à Sibiti, est de 8,9°.

3. L'humidité. Les quantités de vapeur d'eau contenues dans les masses d'air au Congo sont particulièrement élevées et les amplitudes annuelles restent faibles.

4. La pluviométrie. Les hauteurs maximums annuelles ont été relevées sur les Plateaux Batékés (2 776 m/m à Djambala) tandis que les régions les plus sèches se situent dans la vallée du Niari (1 170 m/m à Loudima),

5. Les zones climatiques. Ces différents éléments du climat ont permis de distinguer plusieurs zones climatiques du pays. Du Nord au Sud, on peut distinguer :

a) Au-dessus de 1° de latitude Nord, un climat intertropical atténué, avec des pluies annuelles voisines de 1 600 m/m réparties sur la presque totalité de l'année. Le minimum se situe en décembre-janvier. La température moyenne annuelle reste voisine de 25-26° et l'amplitude annuelle demeure faible, tandis que les écarts diurnes moyens sont plus marqués. L'humidité reste élevée pendant la majeure partie de l'année;

b) Entre 1° de latitude Nord et 2° de latitude Sud, un climat équatorial avec des pluies annuelles voisines de 1 700 m/m et presque permanentes; pratiquement aucun mois n'est sec et seule une faible diminution des pluies peut être signalée en décembre-janvier et juin-juillet. C'est cette constance des précipitations qui différencie essentiellement cette zone des zones climatiques limitrophes, où les hauteurs moyennes annuelles sont du même ordre de grandeur. La température annuelle est comprise entre 24° et 26° , avec des minima de 23-24° en juin-juillet et des maxima de 27° en avril, L'amplitude thermique est très faible. L'humidité est toujours très élevée, les minima étant atteints en février-mars;

c) Un climat de plateau aux les plateaux Batéké et Koukouya, avec une température moyenne n'atteignant pas 24° , avec des moyennes maxima de 32° et des moyennes minima de 18°. Les précipitations sont voisines de 1 700 m/m, avec une saison sèche très nette de juin à septembre et une saison des pluies marquée par de nombreux orages;

d) Un climat bas-congolais au Sud du pays, s'étendant jusqu'à la frontière du Gabon, et caractérisé par la présence d'une très longue saison sèche de 4 à 5 mois, au cours de laquelle sont observés, en juillet-août, les minimums de température et d'humidité. La pluviométrie moyenne varie de 1200 m/m dans le Sud à 1700 m/m vers le Gabon; elle subit de grandes variations selon les années. La petite saison sèche (janvier-février) ne se manifeste pas d'une manière nette mais est simplement marquée par un palier dans la courbe annuelle des pluies. Les températures moyennes mensuelles sont comprises entre 21° et 27°. Les maximums sont voisins de 30° , tandis que les maximums absolus sont de l'ordre de 35°. L'humidité reste toujours élevée, même pendant la saison sèche.

III. LA VEGETATION

1. Généralités

D'une manière générale, la couverture de la terre congolaise est assurée à 65% par la forêt et à 35% par la savane. C'est dire que le Congo est un pays à dominance nettement forestière.

La couverture forestière est discontinue et hétérogène, passant de la forêt inondée à la forêt de terre ferme.

Pour la savane, le chiffre de 35% est global, en ce sens qu'il indique la superficie des zones où la savane est largement dominante. La plupart du temps, les formations herbeuses sont entrecoupées de bosquets forestiers ou de forêts galeries qui prennent parfois un grand développement.

2. Données géologiques

Un caractère frappant de la couverture végétale, bien visible à l'échelle du pays, réside dans les relations étroites qui existent entre le type de végétation et la nature géologique du sous-sol, ainsi que l'a constaté A. Aubréville.

On observe en particulier que

- les terrains quaternaires (alluvions) sont occupés par la forêt inondée (Basse Sangha);
- les formations tertiaires (séries dans plateaux Batékés et série des cirques) sont le domaine de la savane;
- les formations secondaires (très restreintes) supportent la forêt;
- les formations précambriennes, dans la série de l'Inkisi et la série schisto-calcaire du Précambrien supérieur sont couvertes de formations herbeuses, tandis que toutes les autres séries sont couvertes de forêt,

On peut donc affirmer que dans l'ensemble, le facteur prédominant de la répartition de la végétation congolaise est la nature géologique du sous-sol, déterminant lui-même d'une manière étroite la nature pédologique du sol.

3. Les régions naturelles botaniques

Aussi en prenant comme base les données de la géologie, de la pédologie et de la phyto-géographie, on distingue onze zones naturelles. Quatre d'entre elles sont presque entièrement forestières, les autres étant davantage le domaine des formations herbeuses:

- a) La Haute Sangha, au nord de l'Equateur, entièrement couverte de forêt ombrophile équatoriale avec des taches de forêts ombrophile claire (forêts partiellement caducifoliées à sous-bois sempervirent) et de forêt inondée;
- b) La Basse Sangha, à cheval sur l'Equateur, immense région de forêt inondée avec intrusion de forêt ombrophile sur terre ferme et le long des fleuves, l'étonnante végétation de prairie flottante;

- c) La Likouala Alima, où la végétation est une mosaïque complexe de formation différente:
 - Dans la Likouala, on trouve des savanes à Trachypogon vers le Sud et des savanes à Andropogon vers le Nord.
 - L'Alima constitue le fond de la cuvette congolaise. Vers l'ouest on rencontre des steppes Lousseke coupées de forêts mesophiles; à l'est dominant les marais et steppes marécageuses en mélange avec la forêt inondée;
- d) Les plateaux Batékés, où on rencontre les savanes à Trachypogon et Hyparrhenia;
- e) La Léfini, grande région de savanes à Loudetia demensii entrecoupée de forêt mesophile;
- f) Le Chaillu, région recouverte par la forêt ombrophile;
- g) Le Niari, allongé dans la vallée du même nom, entre le Chaillu et le Mayombe. On y rencontre des formations hautes constituées de savanes à Hyparrhenia que parsèment quelques tâches de forêt ombrophile et de papyrus.
- h) Le Plateau des Cataractes, qui connaît une végétation composite avec de la forêt ombrophile, de la forêt mesophile, des savanes à Loudetia demensii et les diverses formes de savanes à Aristida;
- i) Le Mayombe, étroite bande forestière qui n'est que la partie médiane d'un long massif étendu du Gabon au Zaïre;
- j) Le Kouilou, bande côtière comprise entre la forêt du Mayombe et l'océan, qui présente un mélange de steppes littorales pauvres, de forêts littorales et de vaste papyrus.

IV. LES SOLS

1. Les sols ferrallitiques dominant largement sur l'ensemble du territoire. Ils peuvent être classés par leur coloration, celle-ci étant fonction du mélange et du degré d'hydratation des hydroxydes de fer, ainsi que de la surcharge organique :

- Sols rouges ferrallitiques de la région schisteuse du Niari-Sibiti: série schisto-gréseuse du plateau des Cataractes, série de Sembe-Ouessou.
- Sols brun-rouge ferrallitiques, formés sur des roches basiques, amphibolites ou dolomitites: petit affleurement dans la région de Souanké et quelques zones du Mayombe. Ces sols sont souvent caractérisés par une richesse humifère plus élevée que celle des autres types ferrallitiques.

Dans l'ensemble, le potentiel chimique de ces sols est en étroite relation avec la richesse chimique de la roche mère sur laquelle ils se sont développés. Ainsi donc du point de vue de leur utilisation, on peut les classer d'après la richesse chimique du matériau original et admettre que plus une roche mère est riche en base, plus le sol qui en est issu peut présenter une réserve minérale importante. Très schématiquement, et compte tenu de leur composition

minéralogique et chimique, les principales roches mères peuvent être classées dans l'ordre de richesse croissante ci-après :

- formations détritiques sableuses, correspondant à la série des plateaux Batéké;
- formations gréseuses suivant leur cimentation ou la présence en leur sein d'éléments détritiques riches en bases
 - . grès ferrugineux (série de l'Inkissi)
 - . grès feldspathiques (série de Mossouua)
 - . grès de micacé (quartzites micacés de la Kibossi)
- roches granitiques ou gneissiques
- formations schisteuses et calcaires (pays du Niari)
- certaines formations méthaphiques.

2. Les sols hydromorphes sont, à côté des sols ferrallitiques, les sols les mieux représentés. Ils sont subdivisés en sols gris lessivés de bas-fonds, sols semi-tombeux, sols marécageux avec ou sans concrétionnement profond. Sous l'action d'une nappe à faible fluctuation des horizons «gley» peuvent se différencier dans certains profils. D'autre part, la présence d'une nappe peut déclencher des phénomènes de podzolisation.

3. Les sols alluviaux peuvent être classés suivant l'âge de leur mise en place, suivant la nature minéralogique et chimique des alluvions sur lesquelles ils se sont développés, ou bien encore suivant l'intensité de l'évolution, généralement due à l'hydromorphie, qu'ils ont pu subir après leur dépôt. En ce qui concerne leur répartition et les conditions de leur évolution, on observe un modèle fluvial particulier de la morphologie générale d'une terrasse alluviale : bourrelet de berge suivie d'une étendue plane aboutissant en pente vers une dépression drainée. Lors des crues saisonnières, le fleuve franchit le bourrelet et dépose derrière celui-ci les produits charriés en suspension, aboutissant ainsi au fil des années à une stratification des couches dépôts des crues de texture argilo-limoneuse.

4. Les sols érodés. Des surfaces importantes sont actuellement le siège d'une érosion plus ou moins active, aboutissant à la formation de sols érodés dont les profils sont tronqués par enlèvement des horizons supérieurs, C'est ainsi par exemple que la grande partie de la superficie du plateau des Cataractes est constituée de sols érodés ne présentant pratiquement plus aucun horizon humifère. En fonction de la topographie, l'érosion entraîne également la formation des sols d'apports colluviaux des bas de pentes.

V. CARACTERISTIQUES DE L'AGRICULTURE CONGOLAISE

Le Congo, ancienne colonie française, n'a pas échappé à la structure agraire imposée par les anciens maîtres : développement favorisé des cultures d'exportation destinées à la métropole, au détriment des cultures vivrières consommées par les autochtones. Ainsi, le café, le cacao, le palmier à huile, l'arachide ont bénéficié pendant plusieurs décennies d'une attention soutenue, mais il n'en a pas été de même pour le manioc, l'igname, le maïs, le riz, la banane et d'autres cultures secondaires.

1. Les cultures d'exportation

a) Le café. Le Niari, la Lekoumou, la Bouenza, la Cuvette, la Sangha et le Kouilou sont les principales zones de culture du café. Il convient de souligner l'assistance permanente que les services techniques de l'agriculture apportent à la promotion de cette culture: fourniture des plantes traitements phytosanitaires...Le café est cultivé exclusivement par les paysans. A l'heure actuelle les productions sont médiocres et ont une tendance à la baisse, comme le témoignent les statistiques de l'Office national de commercialisation des produits agricoles (ONCPA).

Café : Production en tonnes

	1973-74	1974-75	1975-76	1976-77
Café cériise	136	105	90	273
Café décortiqué	967	1 238	578	934

b) Le cacao. Si la cuvette, la Likouala et le Kouilou produisent du cacao, il convient de souligner que la Sangha en est de très loin la grande région productrice. La culture est assurée exclusivement par les paysans, qui bénéficient d'un encadrement appréciable : fourniture des plants sélectionnés, traitements phytosanitaires.... mais la production est également en baisse.

Cacao : Production en tonnes

	1973-74	1974-75	1975-76	1976-77
Cacao	2 422	2 912	2 324	2 806

c) Le palmier à huile. Plusieurs palmeraies ont été installées par les anciens colons dans les régions septentrionales du pays. De nos jours, 4 277,99 ha de palmeraies sont exploitées par la Régie nationale des palmeraies du Congo (RNPB). Répartition géographique des palmeraies :

- Mokeko	1 363,72 hectares
- Etumbi	2 179,42 hectaree
- Kunda	734,85 hectares

Plusieurs palmeraies, installées par l'IRHO dans des régions du Sud du pays (Lekoumou, Bouenza, Niari...) sont exploitées tant bien que mal par les paysans.

Les palmeraies paysannes proprement dites n'existent pas. Un palmier est le bien de toute une communauté.

d) Le tabac. La culture du tabac est assurée exclusivement par les paysans. L'Office Congolais du Tabac (OCT) en assure l'encadrement technique (fourniture de semences) et la commercialisation. La superficie moyenne de l'exploitation paysanne est d'environ 25 ares. Les deux régions productrices de tabac sont les Plateaux (Ngo-Lague - Ngamboma) et le Pool (Mindouli Kindamba).

e) Le coton. De nombreux travaux de recherche et d'expérimentation sur le coton ont été effectués à la station IRCT de la Kenké à Madingou de 1949 à 1964. De nos jours, une seule ferme pratique la culture du coton sur 200 ha : la Socoton à Madingou, région de la Bouenza.

f) La canne à sucre. Sur 21 000 ha de canne à sucre appartenant à la Société eucrière congolaise (SUCO) la production est en baisse depuis 1970.

2. Les cultures vivrières

A l'exception de quelques fermes d'Etat mécanisées, les cultures vivrières sont essentiellement pratiquées par les paysans. On dénombre près de 160 000 petites exploitations diversement réparties dans le pays : 25 % dans le Pool, 13 % dans le Bouenza, 11 % au Niari, 10 % dans les Plateaux, pour ne citer que les principales régions.

Le manioc est la culture prédominante : on cultive un total de 170 000 ha. Les autres cultures comprennent l'igname (40 000 ha), le maïs (50 000 ha), la banane plantain (45 000 ha), l'arachide, le riz et l'haricot (35000 ha)...

Les superficies exploitées par les fermes modernes mécanisées sont très restreintes : 1 000 ha de manioc, 2 500 ha de maïs, 1 000 ha de riz... Ainsi, plus de 97 % des superficies cultivées en cultures vivrières sont exploitées par des systèmes de culture traditionnelle. C'est un fait très important qui devrait inciter les vulgarisateurs des techniques de cultures modernes à observer une grande prudence quant à la transposition des techniques modernes en milieu paysan.

La pratique des cultures associées est très courante et presque générale dans les systèmes de culture traditionnelle.

3. Les principaux systèmes de culture traditionnelle

Pratique de l'association des cultures, du brulis, de la jachère entraînant un nomadisme culturel à outrance: ce sont là les traits caractéristiques des principaux systèmes de cultures traditionnelles du Congo.

Dans la zone de Kibangou, vallée du Niari, les paysans bacougni sont essentiellement des cultivateurs de savane, bien que depuis quelques années, ils pratiquent la culture en milieu forestier. Les champs sont généralement placés à proximité du village. Tous les champs sont regroupés. Les principales cultures sont le manioc, l'arachide et quelques cultures secondaires : maïs, taro, patate douce, igname oseille.

Les forêts sont très éloignées des villages et situées soit au sommet, soit au flanc des collines, sur des sols schisto-gréseux. Les principales cultures des forêts sont le manioc, l'arachide, l'igname, la banane plantain. Les cultures secondaires rencontrées en forêt sont les mêmes qu'en savane,

Le défrichage, qui est réservé aux hommes, représente un gros travail : la forêt est abattue et aussitôt les feuilles desséchées, il est procédé à un débitage plus ou moins grossier des arbres. Ce travail commence en mai-juin pour se terminer fin septembre. A ce moment on met le feu. Il subsiste enfin sur le sol les couches, les troncs et les grosses branches. C'est sur ce sol couvert de cendres et encombré de débris calcinés qu'on effectue les semis et plantation.

La préparation des terres est identique en savane et en forêt : un défrichement, un brûlis entraînant un dépôt des cendres «engrais traditionnels», suivi d'un griffage de sol léger. Ce capital engrais traditionnel est investi pendant trois ans de culture : il s'ensuit une longue jachère pour la reconstitution de la fertilité du sol. Ce système très simple est le plus répandu, son emploi étant presque généralisé dans les zones à faible densité de population, favorables au nomadisme cultural.

Les seules améliorations que l'on pourrait apporter à ce système sont les amendements calciques, l'emploi des variétés à haut potentiel et des densités de semis et de bouturage plus convenables.

Dans les plateaux de Mouyoundzi, la production vivrière est exclusivement assurée par les femmes babembé, connues pour être parmi les meilleures cultivatrices du Congo. Cette réputation leur vient de l'aspect particulièrement soigné de leurs champs ainsi que d'une technique utilisée avec beaucoup de maîtrise: l'écobuage ou les malas. La végétation est exclusivement constituée de savane arbustive.

Les herbes sont défrichées au début de la saison sèche (mois de mai). C'est cette période que la courbe de la masse végétale atteint son maximum en savane dans cette région. Les herbes sont entassées en matelas épais avec les branches des arbustes. La litière, ainsi que les premiers horizons du sol, sont prélevés et répandus sur la butte (yila). Celle-ci reste à ce niveau jusqu'au mois de septembre : à cette période les interbuttes sont remués jusqu'à 10 - 15 cm, la terre retirée est étalée sur la butte, dont le dessus en est entièrement couvert, Le feu est aussitôt mis, et les herbes brûlent à demi-étauffées pendant trois à quatre jours. La butte ainsi brûlée est longue de près de 2 mètres, large de un mètre et haute de 25 à 30 cm. La terre ainsi calcinée se distingue par sa coloration rouge, qui subsiste pendant plusieurs années, Le semis et plantation sont effectués aussitôt la première pluie.

L'écobuage est la technique traditionnelle de fertilisation la plus élaborée dans les systèmes de culture traditionnelle. En effet, la butte écobuée, après brûlis, entraîne pour la végétation le départ de carbone et d'une partie de l'azote contenus dans les matières végétales, et simultanément un dépôt en place des cendres, éléments minéraux susceptibles d'être mis à la disposition des plantes cultivées très rapidement. Pour le sol, cette technique entraîne, du point de vue biologique, la destruction partielle des micro organismes contenus dans la litière et la terre prélevée sur les interbuttes. En revanche, les micro-organismes du sol en dessous de la butte ne sont touchés que peu : la savane connaissant des feux de brousses périodiques, une certaine résistance des micro-organismes à la chaleur est acquise. Du point de vue chimique aussi, l'écobuage influe grandement sur le sol. La terre et, la litière recouvrant les buttes étant calcinées, une minéralisation très rapide de la matière organique du sol a lieu. L'azote et le phosphore organiques sont ainsi très rapidement mis à la disposition des plantes, et le même effet est enregistré pour le sol sous-jacent à la butte. C'est donc une terre à très forte concentration en éléments nutritifs qu'on obtient par cette technique : élévation du pH, de la somme des bases échangeables, du rapport Ca/Mg.

Enfin, du point de vue physique, la partie sous la butte (dont la hauteur, rappelons-le, est de 25 à 30 cm) présente 20 à 25 cm de terre à propriétés physiques correctes : bonne porosité, bonne structure. Il en résulte donc 45 à 50 cm de terre meuble, à structure grumeleuse, très poreuse, donc très apte à la culture.

Les effets entraînés sur le sol par l'utilisation de cette technique sont aussi très importants, c'est ce qui explique en partie les rendements relativement élevés observés dans ces champs.

Si les malas constituent la technique la plus employée dans le système agricole des plateaux de Mouyondzi, il convient de signaler aussi l'existence de systèmes plus simples, variantes du système agricole de la zone Kibangou.

La pratique des malas est généralisée dans les plateaux de Mouyondzi, et cette généralisation tend à gagner la vallée du Niari proprement dite, également une zone de haute densité de population. Enfin, dans les plateaux Koukouya, zone similaire à très forte pression démographique, cette technique est couramment employée avec quelques variantes.

Ces plateaux, qui constituent la zone la plus densément peuplée du Congo, sont occupés de longue date par un peuple original autour d'une organisation étatique remarquable : les Batéké. Il y existe plusieurs systèmes de culture.

Dans les champs Bibuomo, placés à proximité des lieux d'habitation et destinés à la culture d'arachide, les façons culturales sont simples. Le champ est incendié, et débarassé à la houe des brindilles et herbes non brûlées, ces dernières étant mises en tas au centre de la parcelle. La terre est ensuite remuée à la houe, le tas d'herbe est recouvert de terre, et on y met le feu. L'ensemble brûle lentement. L'arachide est semé en octobre, aussitôt la fin de la préparation, sur le sol ainsi fraîchement remué. Sur les buttes ecobuées, peu nombreuses et de taille réduite, on met des oignons, du tabac (pépinière), descourges, et quelques pieds d'oseille, épinard, manioc ou pomme de terre. Le sarclage a lieu à la houe un à deux mois plus tard. Après la récolte, le champ est laissé tel quel, mais les fanes sont mises en tas si une seconde culture est prévue. Celle-ci se déroule en avril-mai. Les nouvelles pousses sont sarclées et vont augmenter les tas de fanes d'arachide. Ces tas, recouverts de terre sans être brûlés, constituent une nouvelle forme de buttes rondes (kibuma) sur lesquelles on plante pommes de terre, courges et oignons. Ailleurs la terre est à nouveau remuée, des billons sont formés courts (1,40 m x 1 m) mais assez élevés (20-30 cm), les mikala.

Ces petits champs sont très soignés, ne donnent pas lieu à des travaux collectifs et donnent des rendements généralement élevés.

Les champs bipa, dont beaucoup sont éloignés des lieux d'habitation, conservent des champs précédents la succession des cultures et surtout des façons culturales très semblables. Le travail y est mené collectivement au sein de groupes de travail réunissant 5 à 10 femmes.

Le grand inconvénient de ces systèmes, c'est le recours systématique à la jachère pour la reconstitution de la fertilité des sols; il est difficile d'envisager une quelconque action en vue d'améliorer ces types de champs.

Les champs Manzara sont les seuls qui donnent lieu à une culture immédiate de manioc, production à laquelle ils sont voués. Le défrichage, qui a lieu en saison sèche, (août), se caractérise par l'enfouissement de la savane en vert. Des billons sont construits, puis rechargés et augmentés. Ils atteignent une grande dimension (50 m) et dépassent 30 cm de hauteur.

La construction des buttes écobuées Mabvuma a lieu entièrement en saison sèche (juillet). Les herbes sont défrichées à la houe au niveau des racines de façon à constituer de grandes mottes plates qu'on laisse sécher sur place. On forme ensuite un matelas, épais de près de 70 à 80 cm, qu'on enveloppe avec les mottes restantes. Avant de couvrir le sommet on y met le feu au milieu en plusieurs endroits. L'ensemble est alors fermé vers le haut de façon à assurer une lente combustion interne. Le feu couve très longtemps et la butte s'effondre peu à peu. La terre est proprement calcinée. L'analyse d'un échantillon prélevé 3 mois après combustion montre que cette pratique élève le pH de 5 à 5,8, élève la somme des bases échangeables et améliore le rapport Ca/Mg, entraînant ainsi une concentration de fertilité très appréciable.

Les principaux inconvénients des buttes écobuées Mabvuma sont: la dépense d'énergie considérable qu'elles nécessitent pour l'obtention d'une première récolte peu intensive, suivie d'un abandon immédiat du champ; le temps de culture relativement court après un gros investissement en travail à la houe; et les faibles étendues des surfaces cultivées. A ces inconvénients il faut ajouter l'ignorance des avantages des amendements calciques et de la jachère cultivée. Cependant, cette pratique permet de tirer un parti moyen de sols médiocres, et des actions seraient: donc à tenter en vue d'améliorer cette technique.

4. Les principales voies d'amélioration des systèmes de culture traditionnelle

Il n'est pas de recherches ou d'application réellement valables sans une identification avec le milieu humain, écrivait G. MARTIN en 1960. Cette mise en garde contre toute transportation aveugle des acquis de la recherche en milieu paysan est toujours d'actualité. Toute innovation, quelle qu'en soit la valeur intrinsèque, ne portera ses fruits en milieu paysan au Congo que dans la mesure où elle prend comme point de départ les techniques traditionnelles,

Améliorer un système de culture traditionnelle signifie augmenter la production et la productivité du sol. Nous esquissons donc quelques actions susceptibles d'apporter des améliorations au système des buttes écobuées.

Dans l'ensemble des zones où cette pratique est généralisée, les superficies annuelles moyennes des malas ou mabvuma varient entre 20 et 50 ares. Ces superficies correspondent à peu près aux moyens d'intervention d'une paysanne.

L'intervention du tracteur en vue d'augmenter les superficies travaillées; et donc la production, crée une espèce de psychose en milieu paysan même de nos jours. Le paysan refuse d'engager toute dépense supplémentaire dont il ne conçoit pas aisément le profit. La culture attelée, expérimentée à la station agronomique de Loudiman, n'a pas connu un grand succès: les paysans congolais n'ont pas de tradition de l'élevage bovin, si bien que les soins aux animaux et leur alimentation ne sont pas encore

rentrés dans les moeurs. Par ailleurs, le coût de l'ensemble mécanique attelé rebute le paysan ou le force à accroître démesurément sa surface productrice, de sorte qu'il ne puisse plus pourvoir à l'entretien du champ et à la récolte sans recours au salariat. Nous pensons donc que l'augmentation des superficies ne pourra être obtenue que par l'emploi de la houe et le travail en collectivité.

Pour la reconstitution de la fertilité du sol, il y a recours automatique à la jachère après trois ans et demi de culture pour les malas et deux ans et demi pour les mabvuma. Compte tenu du capital fertilité constitué avec la technique des buttes, une prolongation de la période de culture est nécessaire, voire indispensable. On pourrait penser à des amendements calciques à faibles doses, complétés par une jachère cultivée engrais vert le stylosanthes gracilis, ce qui donnerait le schéma suivant pour les malas :

1ère année : confection des buttes écobuées (igname + courge + maïs)
2ème année : arachide + manioc
3ème année : manioc + amendement calcique + stylosanthes
4ème année : stylosanthes
5ème année : confection des buttes écobuées (igname + courge + maïs)

Une jachère plus longue pourrait être observée après deux ou trois cycles, en fonction de l'évolution de la fertilité acquise.

En outre, il importe d'améliorer d'autres pratiques culturales :

- utilisation des variétés à très hautes potentialités
- adoption de densités de semis et bouturages convenables
- utilisation de petits semoirs manuels, d'égreneuses de maïs et de décortiqueuses d'arachide
- emploi de techniques d'inoculation des légumineuses
- emploi de semences désinfectées.

B I B L I O G R A P H I E

1. G. Bocquier et R. Guillemin, 1959. Aperçu sur les principales formations pédologiques de la République du Congo, ORSTOM I.E.C., 1959 - 140 pages.
2. H. Bouboutou et M. Petit, 1976. La République Populaire du Congo-Géographie, Hatier Collection André Journaux - 80 pages.
3. D. Dzaba, 1979. Essai d'expérimentation d'une technique traditionnelle de fertilisation. Ecobuage ou les malas. Rapport C.R.A.L., 1980 (sous presse)
4. B. Guillot, 1973. La Terre ENKOU Congo - Atlas des structures agraires au Sud du Sahara, 128 pages.
5. G. Martin, 1960. Considérations sur l'évolution de l'agriculture traditionnelle dans les régions du Niari, République du Congo, Rapport multigrade. 14 pages.
6. Ministère de l'économie rurale, 1979, Rapport 1979.
7. ORSTOM, 1967. Quinze ans de travaux et de recherches dans les pays du Niari 1949 - 1964. Etudes socio-économiques : 334 pages. Ministère français de la coopération,
8. ORSTOM, 1969, Atlas du Congo. 1969.
9. D. Soltner, 1979. Les bases de la production végétales Tome 1 : Le sol 468 pages. Collection Sciences et Techniques Agricoles.

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

par

F. GANRY et Y. BERTHEAU

Division de Biochimie des sols
Centre, National de Recherches Agronomiques
Bambey (Sénégal)

AVANT-PROPOS

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

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

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

Le présent rapport fait le point de l'avancement des travaux relatifs à la gestion des résidus de récolte dans le cadre des programmes du Groupement d'étude et de recherche pour le développement de l'agronomie tropicale (GERDAT)* conduits au Centre national de recherches agronomiques (CNRA) de Bambey depuis 1975.

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

INTRODUCTION

Les techniques à l'étude dans le cadre des programmes évoqués à l'Avant-propos sont destinées, en système de culture traditionnel ou intensif, à satisfaire deux objectifs primordiaux :

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

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

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

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

1. ENQUETE SUR LES DISPONIBILITES EN MATIERE ORGANIQUE ET LEUR MODE DE RESTITUTION AU SOL

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

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

1.1 Bassin arachidier : isohyète 400 à 900 mm^{1/2}* *

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

- paille de mil 1,5 à 2 tonnes/ha
- fanes d'arachide 0,6 à 1,2 tonnes/ha

* L'Agronomie tropicale : 110, rue de l'Université, 75340 Paris, Cédex 07.

* * Les chiffres renvoient à la bibliographie.

d'autre part la zone des 800-1000 mm (le sud Sine-Saloum), plus arrosée, où les productions s'établiraient à un niveau supérieur :

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

Les «herbes de jachère» constituent la troisième source de matière organique. Une évaluation approximative, en fonction des situations pédo-climatiques locales, donne des valeurs de 1 à 3 t/ha ou de 0,3 à 0,8 t/ha,

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

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

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

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

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

La production de fumier des animaux du carré avoisine 1,5 à 2 t (MS) par an. Pour les paysans pourvus de troupeaux, ou établissant des contrats de parcage, les amendements organiques ainsi obtenus, sur une surface évidemment limitée, seraient de 8 à 10 t (MS)/ha, avec des extrêmes de 5 à 10 tonnes, Souvent par manque de terre disponible en hivernage; une perte importante de la production annuelle des troupeaux n'est pas récupérée.

1.2 Cassamance : isohyète 900 à 1500 mm ^{3/4/}

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

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

1.3 Enseignements tirés des enquêtes

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

Enfin un des résultats de ces enquêtes est de fournir à la recherche agronomique des principes de méthode cohérente avec la pratique, que l'on peut résumer en trois points :

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

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

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

2. VALORISATION DES RESIDUS POST-RECOLTE

2.1 Le compostage anaérobie : compost «biogaz» 3/ 5/ 6/ 7/

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

Après une expérience limitée en laboratoire qui a permis de tester quelques potentialités de fermentation méthanogène d'un fumier de ferme (7), une autre étude in situ en collaboration avec Caritas Sénégal (organisme d'aide et de développement), a porté sur un fermenteur continu implanté en milieu rural, Le suivi technique s'est inscrit dans un cadre socio-économique, accompagné d'une évaluation des qualités agronomiques de ce compost, Le compost effluent a permis d'augmenter les poids en grains de 33 % pour le mil et 16 % pour

l'arachide (en effet direct en présence d'une fumure minérale), et l'apport de phosphate supertriple a diminué les pertes d'azote qui se produisent à partir du compost, surtout s'il est soumis à des alternances d'humidité.

Actuellement un fermenteur en continu de 800 litres, en fûts de 200 litres découpés et soudés, est expérimenté au CNRA; les modifications apportées au modèle «zairois» dont il est issu 8/ visent à répondre aux exigences suivantes :

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

Ce fermenteur s'est avéré jusqu'à présent très fiable et d'un entretien de plus aisés. Il est actuellement en cours d'implantation chez un agriculteur dans une structure intégrée et dans un projet «ferme-pilote». Son installation vise à faire connaître les problèmes posés lors de son utilisation par les agriculteurs et sa ouverture énergétique maximum.

Un projet coordonné regroupant différents laboratoires devrait prochainement être mis en oeuvre; élaboré pour l'ensemble du Sénégal, il s'appuiera sur les enquêtes passées ou en cours qui permettront de tenir compte des spécificités des principales zones écologiques (notamment type et quantités de matériaux fermentescibles, utilisation). Ces installations viseront une structure intégrée (incluant par exemple maraîchage, culture d'algues dans les bassins de décantation) et seront suivies par des équipes pluri-disciplinaires constituées notamment d'agronomes, d'algologues et de socio-économistes.

2.2. Le compostage aérobie : compost CIDR 9/*

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

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

- sur le plan technologique, le procédé est maintenant au point au niveau de l'agitation dans la cuve principale de fermentation et au niveau de la presse;
- sur le plan agronomique, on n'observe pas d'effets annuels significatifs de l'enfouissement du compost de coques 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.

On peut conclure en exprimant quelque scepticisme quant à l'intérêt d'un tel projet en vue d'une application industrielle. La seule application réaliste possible serait au sein des entreprises agricoles, où le recyclage des résidus organiques dans les champs de production végétale permettrait l'apport d'intrants à bon marché (compagnie sucrière, entreprises rizicoles...).

* CIDR : Centre international de développement et de recherche,
55 boulevard Péreire, 75017 Paris.

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

2.3.1 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:

- le compostage peut se faire soit en meule sous film plastique, soit en fosse (préférable);
- le résidu doit être haché avant chargement de la fosse ou de la meule;
- 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;
- au moins un recoupage (brassage) est nécessaire 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.

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

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

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

- par certaines techniques chimiques comme le phosphatage au phosphate monocalcique (super-simple ou super-triple) (voir ci-dessous);
- en explorant la voie de la fixation libre de l'azote de l'air (N₂) en vue de réduire ces pertes sinon d'apporter un gain d'azote dans la compostière

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

2.3.2.2 Dans une deuxième expérience ^{12/}, la paille était inoculée avec l'une des deux souches bactériennes fixatrices de N₂ : *Beijerinckia*, *Enterobacter* et avec l'association de ces deux souches; la paille de ces trois traitements «inoculation», aussi bien que celle du témoin non inoculé, recevait ou ne recevait pas de phosphate super-triple;

Deux phases ont été mises en évidence, comme dans la première expérience:

- dans une première phase (50-60 jours), le système perd, l'azote: la teneur en N augmente de 0,7 % à t₀ à 1,0 % à t₁, mais il s'agit d'une augmentation relative, car la quantité de N diminue d'environ 25 %. Ces pertes sont évitées en présence de phosphate (super-triple).

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

Dans la paille non inoculée, le stock d'azote de chaque micro-compartiment, au départ de 1446 mg d'azote, passe par un minimum de 1096 mg et atteint 1642 mg d'azote après 3 mois de compostage (intervalle de confiance à P 0,05 = 1642 ± 140), soit un enrichissement de 14 % par rapport à la paille de départ de t₀ et de 50 % par rapport à la paille a t₅₀.

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

2.3.2.3 Dans une troisième expérience^{13/}, on a cherché à améliorer l'effet de cette inoculation en associant des micro-organismes décomposeurs aux fixateurs. La paille était inoculée avec un décomposeur: actinomycète, et un fixateur diazotrophe; Spirillum, séparément et ensemble. Cet essai a mis en évidence l'existence de deux phases comme dans les première et deuxième expériences. Dans la première phase, la baisse de N total était de 50%; dans la seconde, la remontée a permis au 150e jour de retrouver le stock d'N initial. L'inoculation n'a eu aucun effet sur l'enrichissement en N total. Ce compost a été suivi et analysé jusqu'au stade «humus stable». Le poids (MS) final à t₁₅₀₋₁₈₀ était 3 à 4 fois moindre que le poids initial.

En conclusion, il importe de retenir deux résultats ; l'un concernant la durée du compostage et l'autre l'enrichissement du compost en azote. Pour des temps de compostage inférieurs à 2 mois, on a montré l'intérêt qu'il y a à apporter du phosphate monocalcique, qui évite les pertes d'azote; pour des temps de compostage plus longs, supérieurs à 3 mois, on a mis en évidence une remontée du stock d'azote, due vraisemblablement à une fixation de N, qui rend inutile ce phosphate (mais celui-ci pourrait servir à 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.

3. ACTION DES PAILLES, DU COMPOST ET DU FUMIER SUR LES CULTURES DE MIL

3.1 Enfouissement des pailles: le risque de phytotoxicité^{14/}

L'enfouissement de paille par les paysans se heurte à de nombreux obstacles d'ordre sociologique et agronomique^{15/}. En ce qui concerne ce dernier aspect, il a semblé que l'absence d'effet-voire l'effet dépressif - de l'enfouissement de la paille soit un des obstacles à considérer» et une étude a été conduite pour en élucider les raisons. Les deux causes possibles sont la «faim en azote» et la phytotoxicité.

* t = temps; indice = nombre de jours après le début de l'expérience.

Expérimentalement, on a montré que la phytotoxicité des pailles peut exister et jouer un rôle important, affectant particulièrement le début du cycle végétatif de la plante. L'hypothèse de cette phytotoxicité est compatible avec la teneur élevée de ces pailles en acides phénols mise en évidence en début de fermentation et dont la disparition au bout de 20 jours a été constatée 14/.

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

3.2 Enfouissement de compost: rendement et valeur nutritionnelle teneur en azote du sol

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

Un effet résiduel très important - plus important même que l'effet direct - des enfouissements de compost a été mis en évidence sur mil après deux années de culture d'arachide (environ +1000 kg de grains) 18/. L'explication possible en est que l'arachide maintient ou accentue l'état de dégradation des sols dégradés acides et préserve ou augmente la fertilité des sols riches, en raison sans doute d'une fixation faible en sols dégradés acides (l'arachide utilise l'azote du sol) et relativement plus élevée en sol riche (l'arachide n'épuise pas l'azote du sol, voire même, elle l'enrichit).

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

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

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

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

Les coefficients d'utilisation réels de l'engrais azoté pour la plante entière sont de 19 % pour les pailles et de 12 % pour le grain, ce qui correspond aux valeurs déjà trouvées à Bambey 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'a augmenté que légèrement (augmentation non significative) ce coefficient. Il est très probable pourtant qu'en présence d'une pluviométrie normale, cette augmentation aurait été marquée, parallèlement à celle du rendement.

En ce qui concerne la fertilité azotée du sol, avec enfouissement de paille ou de compost, une analyse des résultats obtenus par Pieri^{19/} et nous-mêmes laisse entrevoir :

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

3.4 Modalité d'apport du fumier rendement et bilan azoté ^{20/}

Une expérience a permis d'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.

3.4.1 Les rendements

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

Le Tableau 1 montre que la fumure azotée seule accroît proportionnellement plus les parties aériennes que les racines; en revanche, lorsque cette fumure est conjuguée à un apport de fumier les racines augmentent proportionnellement plus que les parties aériennes, phénomène encore accentué si le fumier est enfoui. On voit l'intérêt de cette interaction engrais/fumier pour une plus grande économie de l'eau et de l'azote dans le sol.

Tableau 1 : Effet de la fumure azotée (150 N) par rapport à la non fumure azotée (0 N)

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

Racines visibles à la récolte.

3.4.2 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 sont de l'ordre de 30 %, (voir 3.3) 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 visibles à la récolte, 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.

3.4.3 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 et sans urée, et les sols avec fumier en surface sans urée, ne maintiennent pas le stock d'azote. Il faudrait donc déconseiller, pour ce type de sol, l'épandage de fumier en surface sans ajout d'engrais azoté, celui-ci favorisant en effet l'enracinement en profondeur.

3.4.4 Dégradation de la matière organique et conséquences sur les pertes d'azote

3.4.4.1 Vitesse de dégradation de la matière organique originale et ajoutée

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

Soit A_0 la quantité d'azote (N sol + N fumier) à l'instant initial

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

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

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

3.4.4.2 Importance et nature des pertes d'azote

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

La volatilisation au sein du fumier de surface est généralement une cause importante de pertes d'azote, mais aussi la dénitrification en profondeur, où les trois conditions de son apparition peuvent être réunies :

- augmentation de la teneur en carbone en profondeur (cette augmentation a été observée et mesurée), donc source d'électrons;
- conditions d'anaérobiose en profondeur;
- présence de nitrates lessivés peu ou prou, selon l'importance système racinaire (voir 3.4.1).

CONCLUSIONS

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 système 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 est apparu nécessaire de recueillir des données en milieu rural pour mieux définir nos choix et mieux situer notre action par rapport à la pratique agricole.

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

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

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

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

2, PROMOVOIR LE RECYCLAGE ORGANIQUE EN DEVELOPPANT LA TECHNIQUE DU COMPOSTAGE

Le compostage des résidus organiques avec ou sans fumier, semble être actuellement la technique la plus 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, s'il n'augmente pas significativement les rendements par rapport à l'épandage, présente au moins deux avantages :

- une réduction totale 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/ferme et l'incorporation au sol de substances humiques;

- Dans l'option du compostage en fosse, le compost final présente un poids en matière organique sèche 3 à 4 fois moindre que le poids de paille initiale tout en donnant, au moins, la même quantité d'azote et des autres éléments minéraux. Par exemple 4 t (MS) de paille mil à 0,75 % N, mis à composter, pourront donner, après 5 à 6 mois, 1,5 t (MIS) de compost à 2,5 % N;

- Dans l'option du «compostage méthanogène», même en admettant qu'on ne puisse pas bénéficier de l'avantage précédent (ceci est à l'étude), il apparait une plus-value, sans aucun doute incitatrice: le gaz méthane, et un produit fertilisant : le compost.

3. LES ESSAIS DE VALORTSATION DES RESIDUS DE RECOLTE DOIVENT PRENDRE EN COMPTE LES DONNEES DU MILIEU RURAL

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

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

Les données issues des enquêtes ont donc une valeur essentiellement conjoncturelle. La leçon qu'on doit en tirer dans ces conditions 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 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 mais 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

1. Drevon, J.J., 1978.
Eléments pour une étude des apports de matière organique aux sols dans le bassin arachidier du Sénégal. Doc. ronéo. CNRA de Bambey, Division Bioch. des Sols, 23 p.
2. Seze, O., 1979.
Enquête sur les disponibilités en matières organiques et leurs modes de restitution aux sols dans la région du Sine-Salnum. Doc. ronéo, CNRA de Bambey, Div. Bioch. des Sols, 20 p.
3. Bertheau, Y., Seze, O., Drevon J.J. et Ganry, F., 1980
Biogaz au Sénégal. Bilan et perspectives de développement, IIème Colloque International de Technologie de l'AUPELF. Lomé, Togo, 14 20 janvier 1981. 7 p.
4. Bertheau, Y., 1980,
Disponibilités en matières organiques en Casamance. Doc. ronéo, CNRA de Bambey, Division Bioch, des Sols à paraître
5. Seze, O., 1979.
Biogaz au Sénégal. Bilan d'un an de fonctionnement. Doc. ronéo, CNRA de Bambey, Div. de Bioch, des Sols, 3 p.
6. Bertheau, Y., 1980.
Note sur la construction et l'utilisation du fermenteur zairois modifié «ISRA», Doc, ronéo. CNRA de Bambey - Div. Bioch. des Sols
7. Faye, A.D,
Biogaz, Production de méthane par fermentation anaérobie de la biomasse compostage et réduction d'énergie - Rapport de stage ENCR encadré par J.J. Drevon, ISRA, CNRA de Bambey - 41 p.
- 8, Plum, F., Mbarila, N., 1979.
Un digesteur à flux continu. Université nationale du Zaïre.
Centre de recherches universitaires du Kivu (CERUKI) No.3,
9. Gueye, F. 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 N,
IFS No. G 128 : Programme du 1.07.76 au 1.07.77. ²
10. Ganry, F., 1975
Fiche technique de préparation du compost, Doc, ronéo, CNRA de Bambey. 2 p.
11. Ganry, F., Gueye, F., Rinaudo, G. et Dommergues, Y., 1979
Reduction of nitrogen losses during the composting process by inoculation with *Beijerinckia* and *Enterobacter*. Compte rendu Colloque International Humus et Planta, (Tchécoslovaquie), 1979, p, 327-330.
12. Ganzy, F., 1979.
Rapport annuel 1978 «Gestion des résidus de récolte». Doc. ronéo. CNRA de Bambey, 12 p.

13. Ganry, F., Diem, H.G. et Dommergues, Y., 1980.
Non publié.
14. Ganzy, F., Roger, P.A., Dommergues, Y., 1978.
A propos de l'enfouissement de paille dans les sols sableux tro icaux du Sénégal, C.R, Acad. Agri. France, séance du 15 mars 1978, p. 445-494.
15. Faye, J., 1977.
Problématique d'un thème agricole: le labour de fin de cycle avec enfouissement de pailles dans l'agro-système sahélien. Séminaire sur les technologies combinées dans l'agro-système sahélien, Dakar, 4-14 janvier 1977,
16. Siband, P. et Ganry, F., 1976.
Application de l'analyse d'extraits de tissus conducteurs à l'étude de l'effet d'un compost sur une culture de mil (Pennisetum typhoides).
4ème Colloque International sur le contrôle de l'alimentation des plantes cultivées - Gand (Belgique),CR, Vol. 1 p.584-593.
17. Ganry, F. et Bicdeau, J. , 1975.
Action de la fertilisation azotée et de l'amendement or organique sur le rendement et la valeur nutritionnelle d'un mil Souna III. Agron. Trop. Vol. XXIX No. 10, p.1006 -1015.
18. Ganry, F.
Non publié.
19. Pieri, Ch., 1979.
La fertilisation potassique du mil Pennisetum et ses effets sur la fertilité d'un sol sableux du Sénégal. Doc. ronéo. ISRA-CT;P,A de Bambey-73 p.
20. Ganry, F., Guiraud, G., 1979.
Mode d'application du fumier et bilan azoté dans un système mil sol sableux du Sénégal. Colloque AIEA, Colombo, 1979 - IAEA S1M:, 235 16.

4) L'engrais vert est planté en intercalaire avec le riz précoce et ne servira que pour la deuxième récolte (exemples : Sersbania, Azolla).

i) Sesbania cannabina

La production d'engrais vert enfoui est de l'ordre de 15 à 20 tonnes par hectare. Les jeunes plantes sont plantées en intercalaire avec le riz précoce en mars/avril (2-3 mètres entre les lignes, 30 à 35 cm entre les plantes). 20 et 45 jours après, un apport de 60 à 75 kg de superphosphate et environ 2 tonnes de compost par hectare est épandu dans le champ. Après la récolte du riz et environ cinq jours avant le repiquage du riz tardif (mai/juin), la Sesbania est enfouie dans le sol.

ii) Azolla

Dans les conditions chinoises, l'Azolla peut produire de 10 à 15 tonnes de matière verte par semaine, contenant de 30 à 40 kg de N. Il s'agit d'un rhizome flottant à petites feuilles bilobées et alternées, fixateur d'azote atmosphérique, vivant en association avec une algue bleue (Anabaena Azollae).

La parcelle préparée pour le repiquage du riz est inondée et on y sème de l'Azolla à la dose de 7,5 tonnes par hectare. Une dizaine de jours après, on draine l'eau et l'Azolla est enfouie. La parcelle est de nouveau inondée et après cinq jours on procède à son drainage et l'on enfouit de nouveau l'Azolla qui aurait germé. Il se trouve même qu'après le repiquage l'on assiste encore à une repousse de l'Azolla; dans ce cas, elle est enfouie à la main entre les pousses.

B. Les ordures ménagères

Elles sont soigneusement collectées débarrassées des constituants gênants (matière plastique, ferraille...) et transportées -

i) au champ

a) mélangées aux excréments humains, de la paille de riz et des déjections des animaux domestiques, elles sont empilées en tas de 5 mètres de long, 2 mètres de large et 1 mètre de haut. Les tas sont recouverts d'argile avec des trous d'aération prévus tous les deux mètres, et conservés ainsi pendant deux ou trois mois. La température du mélange peut atteindre 70°C.

b) stockées directement pendant trois mois dans des fosses à compost (5 mètres de diamètre, 2 mètres de haut) et recouvertes avec de la boue. Pendant cette période le mélange est brassé deux fois. Après trois mois, le mélange est épandu au champ à la dose de 15 tonnes par hectare.

- ii) au point de traitement de la commune qui les stocke pendant 25 jours dans des fosses préparées à cet effet. La fermentation est surveillée, la température du mélange ne devant pas dépasser 70°C. Le mélange est cédé aux paysans à un prix très modeste.

C. Les défections animales

1) Excréta de porcins

En Chine les excréta de porcins sont considérés comme la plus importante source de matière organique. Tout est mis en oeuvre pour encourager l'élevage de porcs, avec un objectif de 15 porcs par hectare de terre cultivable, produisant en moyenne 45 tonnes d'excréta par an. Les défections sont utilisées de la façon suivante :

- i) La collecte se fait par lavage systématique de la porcherie , le liquide recueilli étant mélangé soit avec de la paille de riz ou de blé, soit avec des plantes aquatiques, et stocké jusqu'à son utilisation.
- ii) les excréta solides sont mélangés avec de la terre fine dans la proportion de 40 à 60 % et stockés sous abri.
- iii) Les excréta sont mélangés avec de la paille, des débris végétaux de toutes sortes et de la terre, et stockés dans une fosse.

L'épandage du mélange au champ se fait à la dose de 80 à 100 tonnes par hectare.

2) Bouses de vache et autres

Les bouses de vaches sont collectées partout (étables, pistes...) et servent à la préparation de compost.

La teneur en éléments nutritifs des différents types de fumier d'origine animale est la suivante :

Origine	N %	P O % 2 5	P%	K 0% 2	K%
Buffles	0,30	0,25	0,11	0,10	0,08
Ovins	0,70	0,60	0,26	0,30	0,25
Lapins	1,72	2,96	1,30		
Volailles	1,63	1,54	0,68	0,85	0,71

3) L' engrais flamand

L'emploi des excréments humains dans l'agriculture est une pratique très courante en Chine. Il s'agit d'une coutume très valable mais qui exige de strictes mesures d'hygiène. Les excréments ne sont utilisés qu'après un temps de conservation variant de quatre semaines (en été) à huit (en hiver) dans des réservoirs concus à cet effet et où la destruction des parasites est largement assurée. Cet engrais est épandu à la dose moyenne de 75 m³ par hectare. L'engrais flamand est également utilisé dans la production de biogaz.

Dans certaines campagnes les latrines sont construites directement au-dessus d'étangs et les déjections servent à la nourriture des poissons.

D. Les eaux d'égout

Elles sont directement acheminées par canalisations dans les champs, où elles sont épandues.

III. LE BIOGAZ

Il provient de la digestion en milieu anaérobie, de déchets organiques et comprend les gaz suivants : méthane (60 -70 %) et anhydride carbonique (30 - 35 %); des traces d'hydrogène ... Le gaz recueilli est utilisé dans les fermes pour fournir l'éclairage, le chauffage et la force motrice pour les moteurs à combustion interne.

Le fumier produit est exempt d'odeurs.

La bonne production de gaz exige certaines conditions de température de concentration en ions hydrogènes, de rapport C/N et de délayage :

i) Température

Les micro-organismes intervenant dans la production du gaz méthane atteignent leur maximum d'activité entre 20° et 30° C. A des températures plus faibles la production du gaz est réduite; elle est nulle en dessous de 8° C.

ii) Le pH

Les bactéries productrices de méthane sont sensibles au pH. Leur activité est maximale entre pH 6,8 et 7,2.

iii) Rapport C/N

Il est démontré qu'un rapport de l'ordre de 30:1 est très favorable à l'activité des bactéries, lorsque le rapport est plus faible, l'activité est réduite.

iv) Délayage

La fermentation anaérobie se fait mieux si le mélange contient de 7 à 9 % de matières solides.

IV. QUELQUES TYPES DE COMPOST

a) le compost de terreau

Très utilisé dans les zones sèches de la Chine, il est toujours préparé sous abri. Il est préparé des façons suivantes :

- i) Le terreau est mélangé avec des déjections de porc dans une proportion de 3:2 et entassé sous abri pendant deux à trois mois, voire davantage.
- ii) Des déjections animales fraîches, auxquelles on ajoute de l'engrais flamand, sont mélangées avec de la cendre dans une proportion de 3:2, ensuite on y ajoute de la terre ou du terreau dans une proportion de 2:3. Le mélange est stocké sous abri en couches alternées de 15 cm.
- iii) Les ordures ménagères, auxquelles on ajoute du superphosphate dans une proportion de 1:200, sont d'abord mélangées à une quantité égale d'engrais flamand. Le produit est ensuite mélangé à de la terre dans une proportion de 2:3 et stocké sous abri pendant deux à trois mois avant l'épandage.

b) Le compost à température élevée

Il s'agit d'un mélange d'excréments humains et d'animaux avec des résidus végétaux dans une proportion de 1 à 4. On entasse sous abri des couches alternées de débris végétaux et d'excréments, en prenant soin d'y insérer des tiges de bambou faisant office de cheminée. Le tas est bien arrosé d'eau, recouvert ensuite d'une couche de trois centimètres environ de terre argileuse; ensuite on retire les tiges de bambou. Après quatre à cinq jours, la température interne du mélange atteint 60 à 70°C, et à ce moment, on bouche les trous laissés par les tiges de bambou. Pour assurer une bonne décomposition le tas est brassé deux semaines après sa mise en place; on y ajoute encore de l'eau et des déjections animales et humaines avant de le recouvrir à nouveau par de la terre argileuse. Le compost est prêt à l'usage après deux mois.

v. CONCLUSION

L'exemple chinois de recyclage des matières organiques mérite à plus d'un titre d'être étudié et adapté aux conditions africaines. En effet, tout en demandant un effort constant et une importante main-d'oeuvre, il demeure assez simple et ne fait appel à aucun moyen qui ne soit à la portée des populations.

BIBLIOCRAPHIE SOMMAIRE

- F.A.O. - Annuaire Statistique 1977-1978.
F.A.O., - Chine : Recyclage des matières organiques en Agriculture, 1977.
R. SANT'ANNA - Les leçons d'un voyage en Chine, FAO/RAFR, Acora, 1977,

FIXATION D'AZOTE CHEZ LES CYANOBACTERIES LIBRES OU EN SYMBIOSE
(AZOLLA) :

POSSIBILITES D'UTILISATION AGRONOMIQUE EN AFRIQUE TROPICALE

par

P.A. REYNAUD

ORSTOM, B.P. 1386, Dakar
Sénégal

1. INTRODUCTION

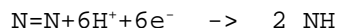
Avec l'augmentation exponentielle de la population du globe, la recherche agronomique a dû depuis 35 ans développer des moyens exceptionnels pour faire face à la demande alimentaire, et utiliser entre autres, pour améliorer les rendements, des quantités croissantes d'engrais. Les crises brutales de l'énergie de 1973 et 1979 ont fait augmenter de façon dramatique le prix de revient des engrais azotés. Or la transformation d'azote en ammonium produit assimilable par la plante demande un apport d'énergie considérable quelle que soit son origine.

L'énergie solaire, gratuite, est utilisée par deux groupes de micro-organismes pour transformer biologiquement l'azote atmosphérique en NH_3 : les bactéries photosynthétiques et les Cyanobactéries. Seules ces dernières présentent l'avantage d'utiliser l' H_2O de l'eau dans le processus de photosynthèse. Elles peuvent donc vivre dans un milieu très pauvre, car elles n'ont besoin que d'azote atmosphérique de CO_2 , d' O_2 et de quelques éléments minéraux.

Leur utilisation est très ancienne. Ainsi au 11^{ème} siècle, le moine bouddhiste Khong Minh Khong introduisait à la région qui constitue actuellement le Nord Vietnam les techniques de culture d'*Azolla*, fougère aquatique qui vit en symbiose avec une Cyanobactérie fixatrice d'azote : *Anabaena azollae*. Nous nous proposons de faire le point des connaissances actuelles sur la fertilisation biologique par les organismes photosynthétiques, Cyanobactéries et *Azolla*, et ses possibilités d'adaptation aux réalités de l'Afrique tropicale.

2. LA FIXATION DE L'AZOTE PAR LES MICRO-ORGANISMES PHOTOSYNTHETIQUES

Seuls certains procaryotes ont la propriété de réduire l'azote atmosphérique en ammonium suivant la réaction :



L'enzyme nitrogénase qui catalyse cette réaction peut aussi ouvrir d'autres triples liaisons, en particulier celles de l'acétylène pour donner de l'éthylène étant facilement dosable par chromatographie en phase gazeuse. Sa formation permet de mesurer l'activité de l'enzyme (Dilworth, 1966).

Chez les organismes photosynthétiques cette réaction nécessite :

- une source d'électrons fournie par le système photosynthétique;
- un transporteur d'électrons;
- une source d'énergie: l'adénosine triphosphate obtenue par photophosphorylation;
- une source d'ions métalliques (Mg^{++} , Mn^{++} ou Ca^{++}) nécessaire à la régénération et de la consommation d'ATP;
- l'activation de l'enzyme nitrogénase: déréprimée en l'absence d'azote combiné dans le milieu et réprimée lorsque le pool d'azote intracellulaire est de nouveau normal, la nitrogénase est inhibée compétitivement par H_2 , CO ou NO , et inhibée irréversiblement en présence d'oxygène (Håystead et al 1970).

Actuellement plus de 125 souches de Cyanobactéries sont reconnues fixatrices de N (Stewart et al, 1979), et dans tous les groupes il existe des formes de protection particulière vis-à-vis de l'oxygène produit par la photosynthèse. La plus connue est la formation d'une cellule sans photosystème 2 : l'hétérocyte, qui est le siège exclusif de la fixation en aérobiose (Fogg 1949), Certaines espèces unicellulaires fixent aussi en aérobiose (Wyatt et Silvey, 1969) alors qu'on a noté une activité fixatrice en conditions microaérophiles chez les Cyanobactéries filamenteuses non hétérocytées (Stewart et Lex, 1970) et chez les Pleurocapsales (Rippka et Waterbury, 1977).

Dans l'association *Azolla-Anabaena azollae*, l'apport énergétique est fourni par la fougère, ce qui limite considérablement l'activité photosynthétique de la Cyanobactérie. L'activité fixatrice est diminuée, mais non annulée, par la présence d'azote minéral dans le milieu. Cette indépendance trophique vis-à-vis du carbone et de l'azote permet aux Cyanobactéries de s'adapter à toutes les conditions de vie : on les rencontre comme premiers colonisateurs des volcans nouvellement émergés, dans les plaines glacées de l'Antarctique, dans les eaux chaudes sulfureuses du Parc de Yellowstone, de même que dans les marécages et les lacs sursaturés. Cependant les Cyanobactéries fixatrices d'azote (CFix) ne sont pas présentes dans tous les biotopes : Watanabe et Yamamoto (1971), au cours d'une prospection portant sur 911 prélèvements de sols, n'en trouvent que dans 5 % des cas; ils observent qu'elles sont plus abondantes dans les zones tropicales.

3. LES CYANOBACTERIES SUR SOLS TROPICAUX

Les Cyanobactéries apparaissent sur la plupart des sols tropicaux très rapidement après les premières pluies, et après 15 à 20 jours d'humectation leur activité fixatrice est optimale. Une succession de pluies et de courtes périodes de sécheresse favorise leur croissance. Pendant la saison sèche la plupart des espèces forment des croûtes algales en agglomérant avec leur gaine gélatineuse des particules de sable. Ces croûtes ne fixent que très rarement l'azote, car au-dessous de 3 % d'humidité la croissance est arrêtée (Tchan 1959) ; en revanche, cette agglomération limite l'évaporation sous-jacente, et elle est assez résistante pour protéger les sols meubles, les dunes en particulier, de l'érosion éolienne.

Se fondant sur une durée journalière de fixation de 12h, et 250 jours d'activité annuelle, Stewart et al. (1978) estiment l'apport d'azote par les croûtes algales à $3 \text{ gN/m}^2/\text{an}^{-1}$ dans les régions sèches du sud ouest du Nigéria et à $0,3 \text{ gN/m}^2/\text{an}^{-1}$ dans les régions sèches du nord-est. Ces apports sont essentiels à la végétation herbacée. Sous des cultures souvent irriguées comme les bananeraies, les cannes à sucre ou les primeurs, on a mesuré des croûtes algales de 0,5 cm d'épaisseur qui peuvent totaliser plus de 200 kg de N par hectare. Il semble toutefois difficile d'améliorer par des pratiques culturales la fixation d'azote par les Cyanobactéries dans ces croûtes.

4. ECOLOGIE DES CYANOBACTERIES EN RIZIERES TROPICALES

L'écosystème de la rizière tropicale fournit un environnement favorable à la croissance des Cyanobactéries, car elles y trouvent la lumière, l'eau, des températures relativement élevées et des éléments minéraux directement assimilables.

A partir d'un très vaste échantillonnage, Venkataraman (1975) ne trouve des CFix que dans 33 % des 2000 échantillons de rizières prélevés en Inde. Au Sénégal en revanche, nous avons observé des CFix dans 96 % des échantillons de rizières étudiés (Tableau 1).

TABLEAU 1 : Présence des Cyanobactéries fixatrices d'azote dans les sols de rizières du Sénégal

	Nombre total d'échantillons	Nombre d'échan tillons avec Cfix	%
Jachères	16	15	93,7
Riz (début de cycle cultural)	25	24	96
Riz (milieu du cycle cultural)	23	22	95,6
Riz (fin de cycle cultural)	25	25	100
TOTAL	89	86	96,6

4.1 Importance des facteurs abiotiques

Un essai de hiérarchisation et de classification des facteurs affectant les variations de la population algale a montré que lorsque la lumière n'était pas le facteur limitant, les facteurs climatiques et physico-chimiques (intensité lumineuse, température, régime hydrique, pH) semblaient affecter plus spécialement la composition des espèces, tandis que les niveaux de phosphore affectaient la luxuriance de cette population (Roger et Reynaud, 1979).

Au Sénégal, la saison des pluies est assez courte (15 juillet au 15 novembre) et les intensités lumineuses sont très élevées (70 à 90 klux); les sols de rizières ont un pH moyen de 5 en début de cycle et de 6,2 après 2 mois de submersion. Nous avons dégagé un schéma général de l'évolution de la population algale (Reynaud et Roger 1978) : du semis au tallage, la biomasse algale est surtout constituée par des Diatomées et des Chlorophycées unicellulaires. Entre le tallage et l'épiaison, quand la biomasse atteint son maximum, elle est surtout composée de Chlorophycées filamenteuses et de Cyanobactéries filamenteuses non fixatrices. Après l'épiaison, si le couvert végétal est très dense, les CFix se développent abondamment; sinon, les Chlorophycées et les Cyanobactéries homocytées restent dominantes.

L'étude des variations de la population algale durant le cycle du riz permet de mettre en évidence les facteurs qui conditionnent son développement:

- les pH bas favorisent la croissance des Chlorophycées au dépens de celle des Cyanobactéries
- en l'absence de couvert végétal les hautes intensités lumineuses favorisent aussi la croissance des Chlorophycées et des Diatomées
- un niveau élevé de CO₂ dissous, dû à la réhumectation du sol au début du cycle, est aussi favorable aux Chlorophycées.

Pendant le cycle du riz on observe une évolution des facteurs climatiques et physico-chimiques favorisant le développement des CFix: le couvert végétal limite l'intensité lumineuse au niveau de l'eau (maximum favorable 25 klux), la concentration en azote minéral diminue, et le pH augmente (les CFix se développent et fixent l'azote à des pH voisines ou supérieures à la neutralité selon Stewart et al, 1979).

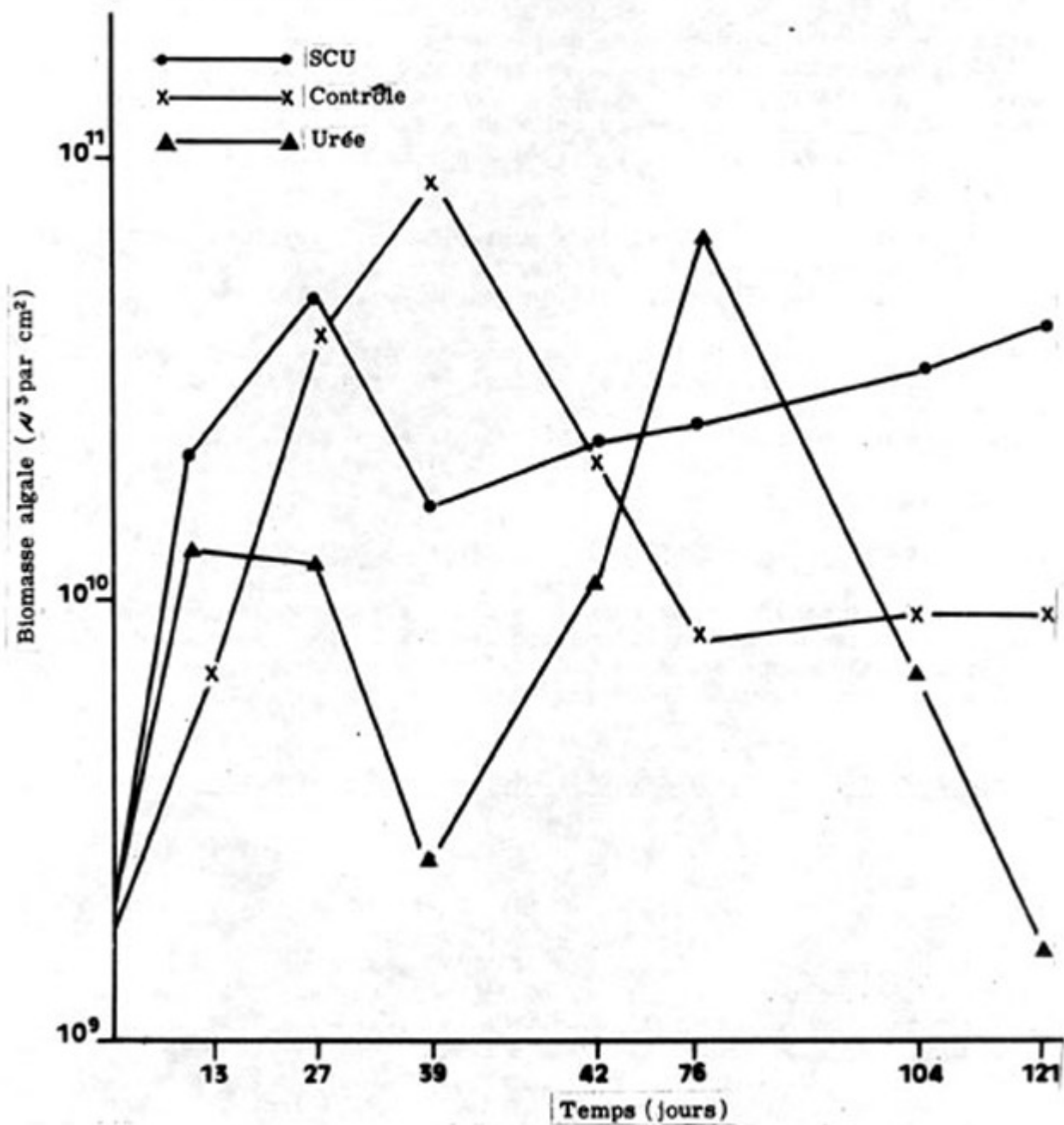
2.2 Importance des facteurs biotique

Parmi, les différents facteurs limitant le développement des Cyanobactéries, le rôle des facteurs biotiques demeure encore mal connu. Au cours de recherches entreprises conjointement par l'ORSTOM à Dakar et par l'IRRI à Los Banos, un certain nombre d'observations ont mis en évidence des formes de compétition entre la biomasse algale fixatrice et les composants biotiques de la rizière (Reynaud et Roger, 1980).

4.2.1 Compétition entre Cyanobactéries fixatrices et algues non fixatrices-

Dans le cas d'une inoculation massive de Cyanobactéries en vase de végétation, la biomasse algale, après deux mois de culture, évolue vers un équilibre entre formes fixatrices et formes non fixatrices. Une étude des variations quantitatives et qualitatives de la flore algale a été réalisée en parcelles lysimétriques pendant un cycle végétatif avec trois types d'application d'engrais azoté: sulphur-coated urea (SCU) en surface ou en profondeur, urée en surface. Cette étude a mis en évidence les points suivants: le SCU enfoui permet le développement le plus régulier et le plus important de la flore algale totale (Figure 1), et c'est avec ce traitement que le rendement en grain est le meilleur. En fin de cycle végétatif on note une forte augmentation du pourcentage de CFix. L'application durcie en surface inhibe la fixation d'azote et favorise la croissance des algues vertes. L'application de SCU en profondeur (-10 cm) n'arrête pas la croissance des CFix. L'application localisée et en profondeur des engrais azotés diminue de façon importante les pertes d'azote par volatilisation et permet le développement compétitif de la flore algale fixatrice, comme l'ont aussi mis en évidence Roger et al (1980) à l'IRRI.

Fig. 1 - Influence des applications de SCU en profondeur et d'urée en surface sur les variations de la flore algale totale pendant un cycle végétatif du riz I Kong Pao.



4.2.2 Autres types de compétition

Prédation: Deux types de prédateurs sont susceptibles de se développer avec une abondance suffisante pour limiter l'activité fixatrice de la flore algale: des ostracodes et des gastéropodes du genre *Limnea*. L'activité de ces prédateurs est amplifiée lors de l'application de pesticides auxquels ils sont particulièrement résistants. En effet, les pesticides détruisent les prédateurs des ostracodes et des gastéropodes, de sorte que ces derniers prolifèrent anormalement.

Plantes aquatiques adventices: L'étude des relations entre les CFix et la biomasse des adventices submergées en présence d'une culture de riz et dans des sols en jachère montre que la biomasse algale fixatrice est supérieure dans les parcelles plantées et qu'il existe une corrélation négative entre la biomasse des adventices submergées et celle des CFix. La compétition pourrait s'exercer au niveau de la nutrition (C₀ et éléments nutritifs) et de l'espace (Kulasooriya et al. 1980) :

Cyauophages: Ils ont été isolés à partir de sols et rizières et il est probable qu'ils jouent un rôle dans la lyse des blooms et dans les variations qualitatives de la biomasse algale du fait de leur spécificité.

- Antagonismes: De nombreuses algues exsudent des substances qui inhibent leur propre croissance ou celle d'autres espèces. Il est probable que les substances toxiques ainsi que les substances de croissance produites par les organismes qui se développent dans les rizières influencent les successions algales, mais pour le moment aucune étude n'a été effectuée sur ce sujet (Roger et Reynaud, 1979).

5. UTILISATION DES CYANOBACTERIES FIXATRICES EN AGRICULTURE

L'augmentation de la teneur du sol en azote organique par les CFix peut être obtenue par deux processus: l'utilisation des CFix comme engrais vert azoté épandu en quantités correspondantes à de l'azote minéral, ou l'algalisation, qui permet à partir d'un inoculum le développement in situ d'une flore fixatrice d'azote.

5.1 Les Cyanobactéries fixatrices utilisées en tant qu'engrais vert

La culture des CFix en quantités suffisantes pour remplacer les engrais azotés se heurte à l'heure actuelle à des problèmes d'ordre technologique et conjoncturel. Benemarm (1979) a estimé qu'il était possible d'obtenir 100 tonnes/ha⁻¹/an⁻¹ de matériel contenant 10% d'azote. Or ce résultat exige une infrastructure comprenant des bassins de faible profondeur (30 à 50 cm) avec une illumination optimum, un renouvellement de l'eau, une aération constante et une main d'oeuvre abondante pour la récolte et le séchage. Dans les conditions les plus favorables, en Californie, l'auteur a calculé que la tonne de matériel revenait à 50 dollars E.-U. (soit environ 275 FF) les 100 kg d'N organique. A titre de comparaison, le prix de 100 kg d'azote(perlurée) rendus à Dakar était de 435 FF en février 1980.

Il semble donc que dans un proche avenir, la production d'engrais vert à partir de CFix deviendra économiquement rentable. Il serait d'ores et déjà intéressant d'en calculer le prix de revient en zone tropicale où la surface occupée, le séchage solaire et les manipulations sont moins onéreux.

5.2 Algalisation

Le but de l'algalisation est, en ajoutant un inoculum de CFix sélectionnées à la flore autochtone des rizières, de remplacer au moins en partie l'apport d'engrais azoté par une augmentation de la fixation biologique de N. Ce processus a, en Inde, (Yenkataraman 1979), dépassé le stade de la recherche expérimentale et en est au stade de l'expérimentation à grande échelle en milieu paysan.

On se rapportera aux recommandations du «All-Indian coordinated project on algae» (1979) pour étudier cette technique:

- L'inoculum est préparé à partir de souches sélectionnées en laboratoire et mélangé afin de convenir à de multiples conditions écologiques.
- La culture intensive d'un inoculum en bassins de 2 m² permet d'obtenir entre 0,4 et 1 kg/m² d'un agglomérat d'algues et de sol en 15 jours; il faut entre 8 et 10 kg de matériel pour ensemercer un hectare, donc de 2 à 3 mois de culture.
- L'inoculum séché peut être stocké pendant 2 à 3 ans en sac sans perte notable de son activité. Il faut prendre soin de ne pas le mettre en contact avec des engrais chimiques.
- Inoculation:
 1. dans le cas de riz repiqué, l'inoculum est mélangé à un égal volume de sable et semé à la volée, à raison de 8 à 10 kg de mélange par hectare, une semaine après le repiquage en même temps que 0,5 kg/ha⁻¹ de molybdate de sodium.
 2. dans le cas de riz semé, les graines sont recouvertes d'un mélange inoculum + sable humide, auquel on ajoute de 2 à 3 kg de CaCO₃ pour 10 à 20 kg de graines (Yenkataraman 1972). L'inoculation devra être renouvelée pendant 3 cycles de riz successifs. Yenkataraman (1979) a calculé que le matériel algal nécessaire à l'inoculation d'un hectare, produit commercialement, revenait à l'équivalent de 20 FF environ, et que son coût devenait négligeable s'il était préparé par le fermier.

Lorsque l'algalisation est effective, elle augmente la taille des plantes, leur contenu en azote et le tallage, mais surtout elle augmente le rendement en moyenne de 475 kg de grains par hectare, par rapport à un contrôle non inoculé (Rogeret Kulasooriya 1980). Les pratiques culturales comme le brûlis, l'enfouissement des pailles et l'apport d'engrais azoté ont des effets plus ou moins marqués sur l'inoculation algale; en présence d'engrais azoté, l'inoculation algale demeure bénéfique, ce qui amènerait à penser que les CFix ont aussi une action auxinique.

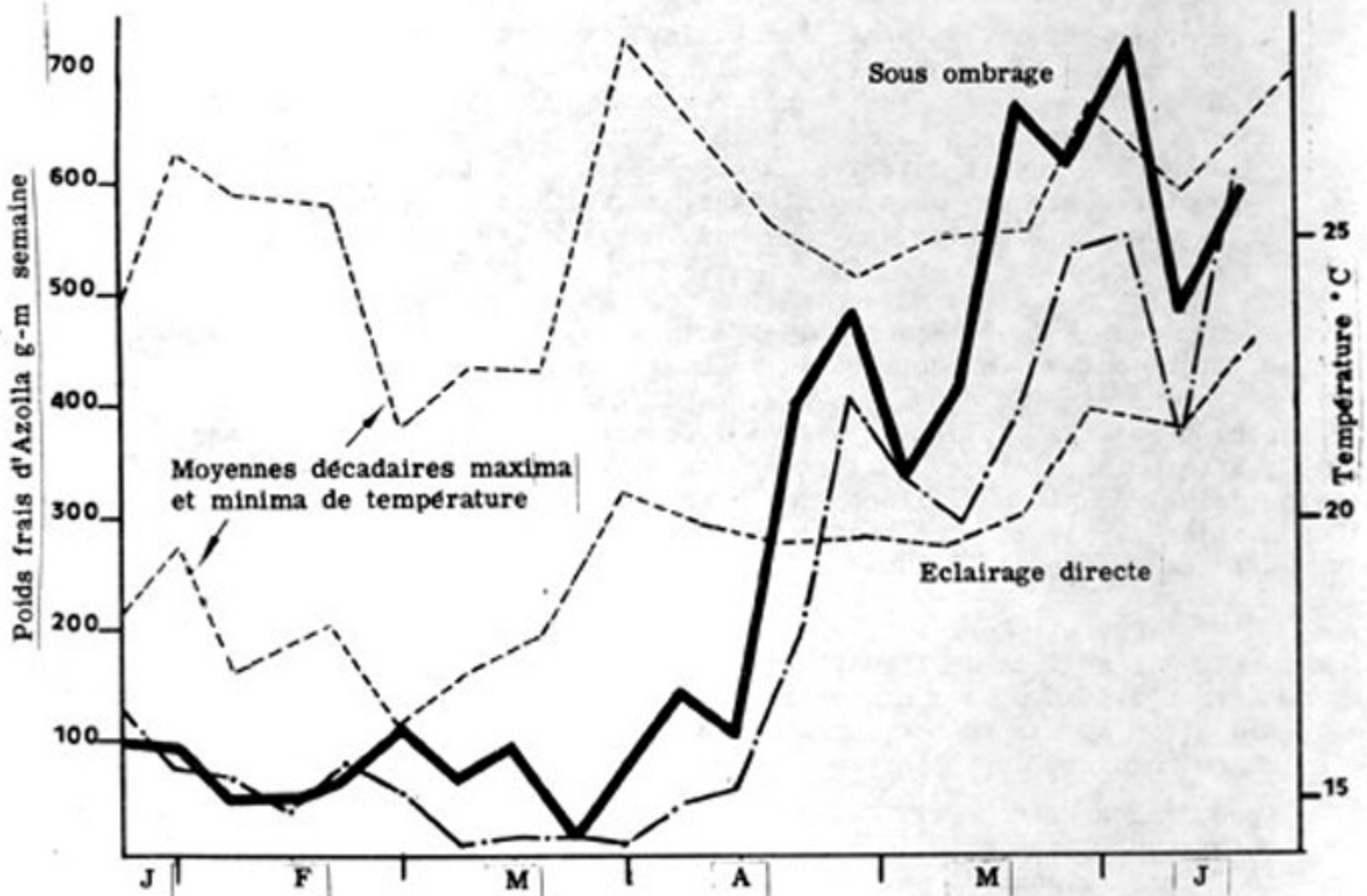
S'il fallait définir les caractéristiques d'un mode d'algalisation plus adapté à l'Afrique de l'Ouest, il faudrait tout d'abord sélectionner des souches résistantes aux hautes intensités lumineuses, à de longues périodes de dessiccation et aux pH bas, puis effectuer une inoculation algale d'après le principe suivant, dont l'efficacité reste encore à démontrer :

- Lors d'un premier cycle cultural: inoculation massive de type engrais vert, permettant l'implantation d'une flore fixatrice et l'utilisation directe de l'azote organique par le riz.
- Lors des cycles suivants: algalisation classique, favorisant le développement des souches sélectionnées.

La présence d'*Azolla pinnata* var. *africana* a été observée dans de nombreux pays de l'Ouest africain: Mali (Bamako), Côte d'Ivoire (Bouaké), Gambie, Bénin, Sierra Leone, Ghana (près d'Ada), Guinée-Bissau et Sénégal (Casamance). Le 15e parallèle semble être la limite nord pour sa croissance spontanée, soit 500 km au-dessous de la limite nord de la croissance du riz. En particulier, *Azolla* n'a pas été observée le long du fleuve Sénégal, à la limite de la zone semi-aride, où le riz est l'une des cultures les plus importantes.

Dans cette zone, l'intensité lumineuse journalière maximum est souvent de 90 klux et la période de sécheresse atteint 8 mois. Roger et Reynaud (1979b) ont montré que les hautes intensités lumineuses et les températures élevées avaient un effet inhibiteur sur la croissance et l'activité fixatrice d'azote d'*Azolla* prélevée en Casamance. Des essais en parcelles de 1 m² à Dakar ont montré d'autre part que les températures inférieures à 17°C inhibent la croissance (Fig. 2).

Fig. 2 - Développement d'*Azolla* en fonction de l'évolution saisonnière de la température et de l'ombrage



D'autres plantes aquatiques flottantes, comme *Salvinia nymhellula*, demandent les mêmes conditions pour leur croissance et peuvent éliminer *Azolla* des rizières; c'est le cas à Dabou, Côte d'Ivoire (V, Jacq, communication personnelle). *Lebistes reticulatus*, poisson très connu des rizières et des céanes (trous d'eau d'irrigation), a une activité prédatrice sur *Azolla*.

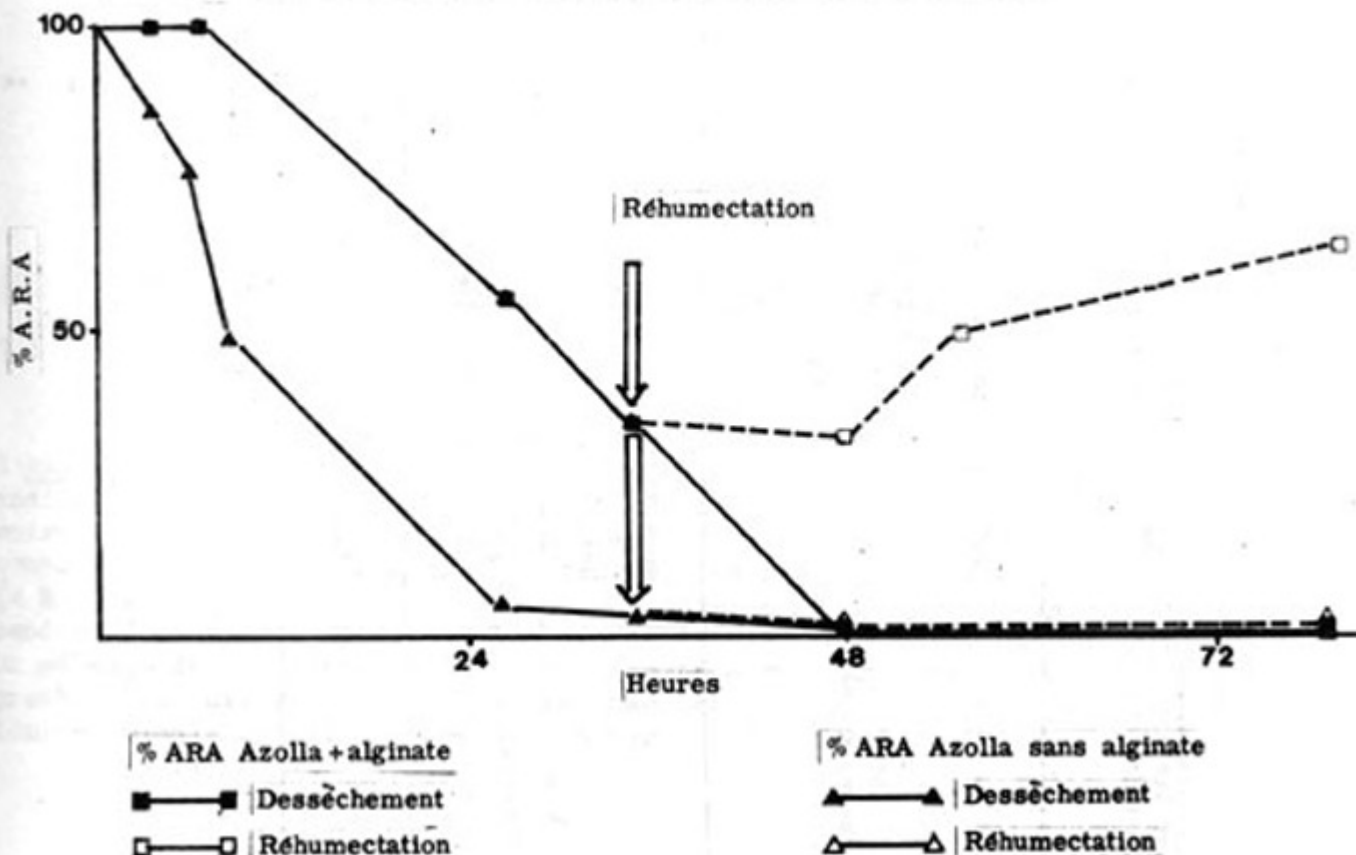
Ces effets sont cependant insuffisants pour expliquer l'absence de croissance spontanée. Elle est probablement due à un problème de conservation durant la longue saison sèche.

L'activité réductrice d'acétylène (ARA) diminue rapidement avec le dessèchement (Fig. 3) et devient nulle en 24 h. La perte d'ARA par sécheresse est un bon critère de la mort des deux partenaires de la symbiose. En effet, si la fougère est alors réhumectée avec son milieu de culture, l'ARA n'est pas restaurée et aucune croissance n'est observée.

Cet effet de la dessiccation peut être atténué par l'addition, 10 heures avant la mise à sec, dans le milieu de culture, d'alginate à 0,05 % (Satialgine S 170, Sobrep-Vélizy). Dans ce cas, l'ARA ne diminue que de 60 % en 24 h., et est rapidement restaurée lorsque l'humidité retrouve son niveau initial.

Des essais ont testé la multiplication d'*Azolla* sous des conditions climatiques sahéliennes. Deux emplacements ont été choisis : l'un à Dakar (Sénégal), correspondant approximativement à la limite nord de la zone de croissance spontanée d'*Azolla*, et l'autre, plus au nord à Kaédi (Mauritanie, Station OMYS). Les résultats (Tableau 2) indiquent que l'apport de phosphore ne marque pas de façon significative la croissance et que les hautes intensités lumineuses l'affectent considérablement. Dans ces conditions l'inoculum doit être préparé sous ombrière et introduit en rizière lorsque le riz développe un certain ombrage.

Fig. 3 - Influence de l'apport d'alginate (0,05 %) sur l'activité réductrice d'acétylène d'*Azolla* après 36 h de dessèchement



TABEAU 2 - Premiers Essais d'inoculation d'Azolla en zone sub-désertique

Localisation géographique	Date	Conditions expérimentales	Nombre de répétitions	Inoculum (poids humide) g/m^2	Durée de l'expérience	Ombrage	Intensité lumineuse		Azolla récoltée (poids humide) kg/ha^{-1}
							Maximum	Atteignant Azolla	
Kaédi (Mauritanie)	Août 79	parcelle 10 m ²	3	200	15 jours	+	110 klux	40 klux	1,057
		parcelle 10 m ² sans phosphore	2	200	15 jours	+	110 klux	40 klux	1,060
		champ de 400 m ² planté avec IR 1581-228-3	1	30	70 jours		110 klux	riz	2,450
Dakar (Sénégal)	Sept. 79 à Oct. 79	parcelle 1 m ²	4	200	15 jours	+	70 klux	46 klux	1,114
	Sept. 79 à Oct. 79	parcelles 1 m ²	4	200	15 jours	+	70 klux	70 klux	0,587
	Mai 79	0,2 m ²	1	228	15 jours	+	90 klux	54 klux	1,428

Quant à la productivité, en extrapolant les taux de production maximums obtenus au laboratoire (224 g de poids frais en 15 jours pour 1750 cm²), la production annuelle optimisée serait de 300 tonnes/ha⁻¹/an⁻¹. Comme le poids sec représente en moyenne 8 % du poids frais et qu'il contient 2,55% d'N (Tableau 3), une culture régulière donnerait 600 kg d'N/ha⁻¹/an⁻¹.

Les mêmes valeurs sont obtenues après extrapolation de l'ARA journalière qui permet d'évaluer la fixation à 1,8 kg d'N/ha⁻¹/jour⁻¹, soit 657 kg/ha⁻¹/an⁻¹. Ces valeurs sont équivalentes à celles citées² pour *A. filiculoides* et *A. mexicana* (Talley et al. 1977), *A. caroliniana* (Peters et Mayne 1974), et *A. pinnata* (Becking 1975).

Tableau 3- Composition d'*Azolla africana*

	% du poids sec *		% du poids sec
Cendres	25,20	Fe	0,33 - 1,2
Azote	2,55	Mg	0,15 - 0,33
Lipides	5	Ca	0,48 - 1,1
Glucides-assimilables	20,85	Na	0,25 - 0,48
Glucides indigestibles (lignine + cellulose)	33,00	K	2,85 - 4,17
		P	0,60 - 0,87

* Matériel sec préparé à partir d'un mélange de 10 échantillons d'*Azolla* ayant poussé sur un milieu sans azote minéral.

** Valeurs limites obtenues à partir de 6 échantillons d'*Azolla* séchée.

7. UTILISATION DES POTENTIALITES D'AZOLLA EN AFRIQUE TROPICALE

7.1 Conditions générales

Singh (1979) a défini les conditions générales pour la croissance d'*Azolla*. Les observations que nous avons faites sur *Azolla pinnata* var. *africana* indiquent en outre qu'une multiplication rapide exige des températures comprises entre 18 et 40°C dans plus de 5 cm d'eau stagnante et une intensité lumineuse comprise entre 15 et 60 klux. Il faut également des applications de phosphate (4 à 8 kg P₂O₅/ha⁻¹, Watanabe 1978), de potasse (4 à 10 kg K₂O/ha⁻¹) et de cendres domestiques apportant les microéléments indispensables (50 kg/ha⁻¹). Un mélange de carbofuran (100 à 500 g/ha⁻¹) avec l'inoculum (200 g poids frais/m²) protège les cultures des dégâts des insectes. Le pH optimum dépend de l'intensité lumineuse mais se situe entre 5 et 8 (Ashton et Walmsley, 1976).

7.2 Inoculation d'Azolla en rizière

7.2.1 Préparation des inoculums

Le développement rapide d'Azolla demande une inoculation massive. L'inoculum doit couvrir, pour obtenir un effet maximum en évitant une trop grande dispersion, 1/5 de la surface à coloniser, soit environ 200 g (poids frais) d'Azolla par m². Durlu (OMFVS, Kaédi) a pu obtenir toutefois une croissance convenable dans une rizière de 400 m² à partir d'un inoculum de 30 g/m² (Tableau 2). Cet inoculum devra être préparé à proximité ou même directement dans la rizière. Dans le marigot de Koular, à la limite nord de la Gambie, Azolla (appelée «kouban» par les Mandingues) est conservée végétativement dans les mares pérennes pendant la saison sèche, puis s'étend, avec l'augmentation des mares au début de la saison humide, jusqu'à recouvrir la grande majorité des 150 hectares de rizières traditionnelles de cette vallée. Les femmes mandingues, en désherbant, enlève Azolla des rizières, car elles ont observé qu'elle provoque une verse mécanique. Elles la font sécher directement sur les murets, d'où les eaux de ruissellement entraînent le matériel sec de nouveau dans la rizière. Ces rizières, cultivées depuis plus d'un siècle, n'ont jamais reçu d'engrais azotés.

La production de l'inoculum peut aussi se faire suivant le même principe de croissance en fonction de la surface, en mettant, avant le repiquage, une parcelle sous eau. L'inoculation se fait sur 1 ou 2 m², limitée par une claie. Lorsque Azolla recouvre toute la surface, celle-ci est doublée puis quadruplée... Dans de bonnes conditions, le temps de doublement d'Azolla est de deux à quatre jours. Il est donc possible de recouvrir, avec cette technique, 500 m² de rizière en un mois et 50 hectares en deux mois. La possibilité d'induire la formation des sporocarpes, de les stocker et de les faire germer, fait actuellement l'objet de recherches, car le procédé permettrait de transporter des quantités importantes d'inoculum sous un faible volume.

Nous utilisons, pour le transport d'Azolla sous sa forme végétative, un trempage dans une solution d'alginate à 0,05 %, un léger essorage, une disposition en couches ne dépassant pas 1 cm sur des claies de toiles moustiquaires recouvertes de papier filtre inhibé d'une solution à 0,1 % de cycloheximide, et une durée de transport ne dépassant pas 48 heures.

7.2.2 Effet de l'inoculation d'Azolla en rizière

Une première série d'expériences en mini-rizières de 2 m² a permis de montrer à Dakar : que l'apport d'Azolla séchée en quantités correspondant à 50 kg d'N ha⁻¹ n'apportait pas d'amélioration de rendement par rapport à un apport d'engrais correspondant à 15 kg d'N/ha⁻¹ (respectivement 4,8 et 4,3 t/ha⁻¹); que le repiquage en ligne, qui devait permettre une meilleure croissance d'Azolla, ne donnait pas un rendement supérieur par rapport à un repiquage normal (respectivement 5,4 et 5,2 t/ha⁻¹); et que l'azote apporté par une inoculation d'Azolla fraîche (à raison de 200 g/m²) correspondait à 50 kg/ha⁻¹ pour un cycle végétatif du riz.

Les premiers résultats des essais obtenus à partir du projet «International Network on Soil Fertility and Fertilizer Efficiency in Rice» (INSFFER) (IRRI 1980), montrent que:

- sur des parcelles sans engrais azoté le rendement est supérieur en présence d'Azolla;
- la croissance d'Azolla dans la rizière avant ou après repiquage, suivi de son incorporation, permet un rendement équivalent à l'apport de 30 kg/ha⁻¹ d'azote;

- la combinaison de la croissance d'Azolla avant et après le repique donne un rendement semblable à celui obtenu par l'apport de 60 kg/ha⁻¹ d'azote;
- il n'y a pas de différence de rendement entre l'incorporation ou non d'Azolla, poussée après le repiquage;
- dix tonnes d'Azolla fraîche augmentent le rendement de 700 Kg/ha⁻¹;
- l'azote d'Azolla est plus difficilement assimilé par le riz que celui de l'engrais azoté.

Un protocole semblable est, actuellement en cours à l'ORSTOM, Dakar. Il serait souhaitable que le même type d'expérience soit entrepris dans toutes les régions d'Afrique possédant un centre de recherche agronomique. Cela permettrait d'établir, à partir d'un protocole simple que le centre ORSTOM de Dakar (B.P. 1386) peut procurer, les conditions d'utilisation d'Azolla les plus adaptées à cette zone géographique.

i.3 Autres aspects de l'utilisation d'Azolla

Azolla peut être inoculée dans toutes les cultures irriguées en billons. Des parcelles de patates douces ont ainsi été inoculées avec succès dans la région des Niayes (côte nord-ouest du Sénégal), avec un pH de l'eau variant de 5,7 à 8; le temps de doublement d'Azolla était de 4 jours.

Des essais d'inoculation ont aussi été effectués dans les céanes du Cap Vert, mais après une croissance satisfaisante (temps de doublement de 3 jours), l'activité prédatrice de *Lebistes reticulatus* a détruit l'inoculum (Reynaud et Paycheng 1980).

Comme le montre le Tableau 3 la valeur nutritive d'Azolla est basse. Elle ne peut être considérée comme un aliment pour les monogastriques. Malgré sa haute teneur en azote, ses teneurs excessives en fibres indigestibles (33%) et cendres (25%) limitent son intérêt comme fourrage pour les ruminants. Elle a cependant été utilisée avec succès comme aliment pour la volaille (Subudhi et Singh 1978) .

8. CONCLUSION

Les travaux effectués au Laboratoire de Microbiologie de l'ORSTOM à Dacar, coordonnés avec des études réalisées par l'IRRI dans la zone d'Asie tropicale, ont permis d'évaluer les possibilités agronomiques des fixateurs d'azote photosynthétiques. Cependant, si certains essais d'inoculation peuvent dès présent réussir, les recherches doivent encore se développer dans plusieurs directions :

- Méthodologie: perfectionnement des méthodes de mesures de la fixation biologique en serre et au champ;
- Détermination de la part respective de la fixation phototrophe et de la fixation hétérotrophe;
- Sélection de Cyanobactéries fixatrices: constitution d'une collection de souches sélectionnées pour leur haute activité fixatrice, leur faible besoin en phosphore, leur forte compétitivité in situ, leur tolérance aux pH acides. L'effet de l'enfouissement des pailles, de la fertilisation avec N et P, de l'espacement des plants de riz, des herbicides et des prédateurs sur ces souches devra être précisé.
- Symbiose Azolla-Anabaena azollae : il serait intéressant de tester les autres espèces et sous-espèces d'Azolla originaires d'autres régions du monde dans les biotopes africains et de définir la disponibilité de l'azote fixé par Azolla pour le riz en fonction du régime de l'eau, des séquences d'incorporation, du type de sol et de la profondeur de l'enfouissement.

REFERENCES

- All India Co-ordinated Project on Algae, 1979.
Algal biofertilizers for rice, Indian Agricultural Research Institute New Delhi.
119 pp.
- Ashtow, P.J. et Walmsley, R.P. The aquatic fern *Azolla* and its *Anabaena* symbiont.
Endeavour 35. 124 : 39-43, 1976.
- Benemann, J.R. production of nitrogen fertilizer with nitrogen-fixing blue-green algae. *Enzyme Microb. Technol.* 1, 83-90, 1979.
- Becking, J.H. Nitrogen fixation in some natural ecosystems in Indonesia.
In P.S. Nutman, ed. *Symbiotic nitrogen fixation in plants*. I.B.P. meeting,
Edinburgh, Vol. 7. Cambridge University Press, Cambridge, London 1975, 539-550.
- Dilworth, M.J. Acetylene reduction by nitrogen-fixing preparations from *Clostridium pasteurianum*, *Biochim. Biophys. Acta*, 127: 285-294, 1966.
- Fogg, G.E. Growth and heterocyst production in *Anabaena cylindrica* Lemm. II.
In relation to carbon and nitrogen metabolism. *Ann. Bot.*, 13: 241-259, 1949.
- Haystead, A., Robinson, R. et Stewart, W.D.P. Nitrogenase activity in extracts of heterocystous and non-heterocystous blue-green algae, *Arch. Mikrobiol.* 75: 235-248, 1970.
- International Rice Research Institute. International Network on Soil Fertility and Fertilizer Efficiency in Rice (INSFFER) Report on the first trials of *Azolla* use to rice 1979. Pub. roneo, IRRI, P.O. Box 933, Manila, Philippines, 1-20, 1980.
- Kulasooriya, S.A., Roger, P.A. et Watanabe, I. Relationship between the growth of a blue-green alga and standing crop in wetland rice fields. In press, 1980.
- Peters, G.A. et Mayne, B.C. The *Azolla* -*Anabaena azollae* relationship. II Localization of nitrogenase activity as assayed by acetylene reduction. *Plant Physiol.* 53: 820-824, 1974.
- Reynaud, P.A. et Paycheng, C. Influence de l'inoculation d'*Azolla africana* dans un milieu à *Lebistes reticulatus* sur la composition chimique des deux espèces, *Cah. ORSTOM, sér. Biol.* 19 ,
- Reynaud, P.A. et Roger, P.A. N-fixing algal biomass in Senegal rice fields. *Ecol. Bull. Stockholm* 26: 148-157, 1978.
- Reynaud, P.A. et Roger, P.A. Compétition entre les Cyanobactéries fixatrices de N et certains autres organismes du biotope rizière. In compte-rendu de fin d'étude d'une action concertée: Fixation biologique de l'azote. ORSTOM, Dakar, Pub. ronéo, 31-34, 1980.
- Rippka, R. et Waterbury, J.B. The synthesis of nitrogenase by non-heterocystous cyanobacteria. *FFEMS Microbiology Letters* 2 : 83-86, 1977.
- Roger, P.A. et Kulasooriya, S.A. Blue-green algae and rice, IRRI, Los Baños, 112 pp, 1980.
- Roger, P.A. et Reynaud, P.A. Ecology of BGA in rice fields. In «Nitrogen and Rice», IRRI, Los Baños, 289-309, 1979a.

Roger, P.A. et Reynaud, P.A. Premières données sur l'écologie d'*Azolla africana* en zone sahélienne (Sénégal). *Oécol. Plant.*, 14 (1), 75-84, 1979b.

Roger, P.A., Kulasooriya, S.A., Tirol, A.C. et Graswell, E.T. Deep placement: a method of nitrogen fertilizer application compatible with algal nitrogen fixation in wetland rice soils. *Plant and Soil*, Sept. 1980.

Sing, P.K. Use of *Azolla* in rice production in India. In «Nitrogen and Rice». IRRI, Los Baños, 407-418, 1979.

Stewart, W.D.P. et Lex, B. Nitrogenase activity in the blue-green alga *Plectonema boryanum* strain 594. *Arch. Mikrobiol.*, 73: 250-260, 1970.

Stewart, W.D.P., Sampaio, M.J., Isichei, A.O. et Sylvester-Bradley, R. Nitrogen fixation by soil algae of temperate and tropical soils. In *Limitations and potentials for biological nitrogen fixation in the tropics*. Dobereiner, J., Burris, R.H. and Hollaender, A. eds. In «Basic Life Science» 10: 41-63, 1978.

Stewart, W.D.P., Rowell, P., Ladha, J.K. et Sampaio, M.J.A.M. Blue-green algae (cyanobacteria): Some aspects related to their role as sources of fixed nitrogen in paddy soils. In *Nitrogen and rice*, IRRI, Los Baños, 263-285, 1979.

Subudhi, B.P.R. et Singh, P.K. Nutritive value of water fern *Azolla* for chicks. *Poult. sci.* 57. 378-380, 1978.

Talley, S.N., Talley B.J. et Bains, W. Nitrogen fixation by *Azolla* in rice fields. In Hollaender, A. ed. *Genetic engineering for nitrogen fixation*. Plenum Press. New York and London 1977. 259-281.

Tchan, Y.T. Study of soil algae: III. Bioassay of soil fertility by algae. *Plant and Soil*, 10: 220-232, 1959.

Venkataraman, G.S. *Algal biofertilizers and rice cultivation*. Today & Tomorrow's Printers and Publishers, New Delhi, 75 pp. 1972.

Venkataraman, G.S. The role of blue-green algae in rice cultivation. In «Nitrogen fixation by free-living microorganisms». Stewart, W.D.P, ed, Cambridge Univ. Press. 207-218, 1975.

Venkataraman, G.S. Algal inoculation of rice fields. In «Nitrogen and Rice»: IRRI, Los Baños. 311-321, 1979.

Watanabe, A. et Yamamoto, Y. Algal nitrogen fixation in the tropics. *Plant and Soil*, special vol.: 403-413, 1971.

Watanabe, I. *Azolla* and its use in lowland rice culture. *Tsuchi to Biseibutsu*, 20: 1-10, 1978.

Wyatt, J.T. et Silvey, J.K.G. Nitrogen fixation by *Gloeocapsa*. *Science, N.Y.*, 165: 908-909, 1969.

POINT DE LA RECHERCHE A L'IITA SUR LA FIXATION SYMBIOTIQUE
DE L'AZOTE ET SON IMPACT L'AGRICULTURE TROPICALE

par
K. Mulongoy

International Institute of Tropical Agriculture
P.M.B. 5320, Abadan, Nigeria

I. Introduction

La réussite de l'agriculture traditionnelle repose sur la capacité intrinsèque du sol et des micro-organismes qui y vivent à recycler les matières organiques provenant de la végétation et des bêtes mortes. Une période de jachère naturelle assez longue est ainsi indispensable pour améliorer la structure du sol et ramener la fertilité à un niveau qui permette l'obtention de bons rendements. La pression démographique, conjuguée à l'accroissement de la demande alimentaire, a entraîné une réduction des périodes de jachère et, de ce fait, une diminution de la productivité du sol et une augmentation de la dégradabilité de sa structure.

Plusieurs substituts de la jachère forestière ont été proposés:

- 1) le «semis direct» sans labour ou avec un travail du sol minimum en vue de minimiser la tendance à l'érosion (IITA, 1978a);
- 2) l'amendement de la fertilité du sol au moyen d'engrais, notamment les engrais azotés;
- 3) la «culture en couloirs», incluant les légumineuses arbustives comme *Leucaena leucocephala* ou *Cajanus cajan* (IITA, 1980a);
- 4) la culture associée ou la rotation avec les légumineuses à graines;
- 5) l'optimisation de la fixation de l'azote puisque, dans l'agriculture tant moderne que traditionnelle, celui-ci est l'élément le plus limitant. Sans être l'unique solution, la fixation de l'azote par les micro-orgsnismes peut ainsi constituer une partie intégrante d'un programme d'amélioration des pratiques agricoles, comme complément ou substitut de l'usage d'engrais azotés.

L'Institut international d'agriculture tropicale (IITA), un des centres internationaux de recherche et de formation agricole, situé à Ibadan (Nigeria), sur une superficie d'environ mille hectares, a pour mandat, entre autres objectifs, d'améliorer la qualité et la quantité des cultures vivrières dans les régions tropicales humides et sub-humides (IITA, 1978b). L'Institut met en oeuvre quatre programmes principaux, dont trois visent les cultures vivrières: amélioration des céréales, amélioration des légumineuses à graines et amélioration des racines et tubercules. Le quatrième programme, dit «des systèmes de cultures», est le centre de tous les efforts engagés, puisque son ultime objectif est de substituer à la culture traditionnelle, reposant sur la jachère naturelle, des pratiques et systèmes cultureux profitables au petit paysan.

Dans le cadre du réseau international, les responsabilités essentielles de l'IITA portent sur l'igname, la patate douce et le manioc (amélioration des racines et tubercules), le maïs et le riz (amélioration des céréales) ainsi que sur le niébé, du fait de son importance en Afrique et au Brésil, et le soja, légumineuse qu'adoptent plusieurs économies, paysans et institutions gouvernementales des pays tropicaux (amélioration des légumineuses à graines).

L'IITA a initié son programme de recherche sur la fixation biologique de l'azote en 1972. En 1974, il a identifié et commencé à se concentrer sur certains domaines de la symbiose Rhizobium/légumineuse. En effet, le Rhizobium peut vivre en symbiose avec les légumineuses et fixer ainsi l'azote atmosphérique pour le transférer à la plante; les besoins des légumineuses en azote s'en trouvent ainsi partiellement ou totalement satisfaits. Le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et ensuite le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) l'assistent dans la réalisation de ces travaux.

II. Programme de la fixation biologique de l'azote à l'IITA

Le programme de recherche sur la fixation biologique de l'azote par la symbiose Rhizobium/légumineuse consiste essentiellement à:

- 1) élaborer une collection de différents cultivars d'une légumineuse donnée et de diverses souches de Rhizobium compatibles;
- 2) évaluer et identifier les souches les plus efficaces dans la fixation de l'azote, aussi bien en pots qu'en champ, en vue d'augmenter le rendement en matières végétales et/ou en grains;
- 3) étudier la survie, la compétitivité et la persistance des souches rhizobiennes introduites, ainsi que les facteurs qui contrôlent ces paramètres dans divers agrosystèmes;
- 4) évaluer l'économie de la fixation de l'azote par les symbioses sélectionnées et développer des techniques peu coûteuses pour évaluer en champ l'efficacité de la fixation biologique de l'azote;
- 5) identifier les méthodes d'inoculation les plus adéquates et les moins coûteuses.

A. RECHERCHES SUR LE SOJA

1. Etablissement d'une collection de souches de Rhizobium capables de noduler le soja et évaluation de leur efficacité dans la fixation de l'azote.

Comme l'indique le Catalogue révisé des cultures de Rhizobium (Mulongoy, non publié), la collection de souches capables de symbiose avec les variétés spécifiques et non spécifiques de soja comprend 137 isolats, dont 92 ont été obtenues au Nigeria et en République du Niger et 45 reçues d'autres institutions. Ces souches sont soit réfrigérées sur gélose inclinée en tubes et sous la forme lyophilisée, soit congelées en présence d'agents cryoprotecteurs comme le glycérol 2%. Elles sont distribuées gratuitement sous la forme lyophilisée, sur milieu gélosé ou comme inoculums.

La capacité fixatrice d'azote de la plupart de ces souches en symbiose avec le soja a été évaluée au laboratoire et au champ, sur la base en particulier de la production de matière végétale, du contenu en azote ou du rendement en grains (Tableau 1). Une collection de travail comprenant une dizaine des souches les plus intéressantes a ainsi été constituée.

2. Démonstration de l'intérêt d'inoculer le soja dans différents milieux édaphiques et climatiques et identification des souches les plus adaptées à l'environnement tropical, d'abord dans des centres de recherche et ensuite dans les champs des paysans.

Le Tableau 1 est un extrait des résultats obtenus lors de l'évaluation de l'efficacité symbiotique de plusieurs souches de *R. japonicum*. Ces résultats, ainsi que d'autres obtenus à Ibadan et à Mokwa, Nigeria (Rao et al., 1980), démontrent clairement que les variétés américaines, agronomiquement supérieures aux variétés d'origine asiatique, répondent positivement à l'inoculation, notamment dans des sols pauvres en azote (N total 0,15%), avec des accroissements de rendements similaires à ceux qu'entraîne la fertilisation (3 x 50 kg N/ha d'urée), soit plus de 65% par rapport aux rendements des parcelles non inoculées. L'inoculation du soja constitue donc un substitut, intéressant par son coût très peu élevé, de l'emploi d'engrais azotés. De même, le nombre et la masse nodulaire ont augmenté de façon significative dans les parcelles inoculées, aussi bien chez les variétés américaines que chez les variétés asiatiques; cependant, pour ces dernières, la nodulation (due à la présence de souches autochtones) était également abondante dans les parcelles qui n'avaient pas reçu d'inoculum (Rao et al., 1980) et, dans ce cas, la production de graines n'a pas été améliorée par l'inoculation (Tableau 1).

Tableau 1. Effet de l'inoculation avec *R. japonicum* et de la fertilisation avec l'urée sur le rendement en grains de quelques variétés de soja dans un sol à pH 6,5 (H 0) à l'IITA, Ibadan (tonnes/hectare)

Traitement	Variété de soja			Moyenne
	TGm80 <u>1</u> / (Bossier)	TGm294-4 <u>1</u> / (Bossier)	TGm918 <u>2</u> / (Orba)	
Non inoculé	1,64	1,07	2,12	1,61
IRj <u>3</u> / 2101	2,78	2,94	2,25	2,66
IRj 2113	2,79	3,06	2,74	2,86
IRj 2119	3,18	2,87	2,55	2,87
IRj 2123	2,87	3,15	2,52	2,85
IRj 2126	3,12	2,86	2,42	2,80
Nitragin <u>4</u> / Urée <u>5</u> /	3,03	2,87	2,62	2,84
	2,72	2,68	2,67	2,69

LSD pour la comparaison des moyennes pour un même traitement: 0,5

LSD pour la comparaison des moyennes entre traitements: 0,6

1/ Origine américaine; spécifique pour les souches de *R. japonicum*

2/ Origine asiatique; nodule avec les souches rhizobiennes du groupe d'inoculation croisée du niébé

3/ Profile du numéro d'ordre des souches de *R. japonicum* dans la collection de l'IITA

4/ Inoculum commercial à souches multiples préparé par la Compagnie Nitragin Ino. E.-U.

5/ Appliquée en 3 doses de 50 kg N/ha chacune, au semis, à la floraison et lors du remplissage des gousses

L'avantage d'inoculer le soja a été également démontré dans un essai régional, dans sept stations de recherche (Tableau 2). En 1981, l'efficience de certains inoculums sera testée dans des champs de paysans, par les paysans eux-mêmes.

L'étude de l'influence d'une dose initiale d'azote qui stimulerait la fixation de l'azote n'a pas donné de résultats concluants (IITA, 1980b). En utilisant les milieux de culture de Keyser et Munns (1979), on est en train d'identifier également des souches rhizobiennes capables de tolérer l'acidité de certains sols africains (pH<5,0 et Al³⁺), avec l'espoir que leur adaptation à ces conditions permettraient leur survie et leur persistance dans cet environnement défavorable.

Parallèlement à ces études, on procède à la sélection des variétés de soja capables de symbiose efficace avec les souches rhizobiennes autochtones. Dans la banque de gènes de l'IITA, tous les cultivars de soja non spécifiques, du reste les plus utilisés par les paysans au Nigeria, exhibent de nombreuses caractéristiques agronomiquement pauvres. Leur rendement est souvent si bas que la symbiose avec les souches locales n'est pas nécessairement efficace. En revanche, les variétés améliorées d'origine américaine ne trouvent guère les souches de *R. japonicum* compatibles dans les sols tropicaux.

Un programme de croisements entre les variétés spécifiques et non spécifiques a été entrepris. Les lignées choisies pour leur non-spécificité ont constamment bien nodulé dans plusieurs endroits au Nigeria et dans certains pays où existe une collaboration avec l'IITA. Leur emploi permettra, espère-t-on, d'éviter certaines difficultés de l'inoculation: rareté dans nombre de pays africains d'un support approprié comme la tourbe, menaces à la survie du *Rhizobium* lors de l'expédition et de l'emmagasinage des inoculums ainsi qu'au moment du semis dans un environnement souvent défavorable. Il faudra cependant s'assurer encore de la stabilité des caractères intéressants hérités lors des croisements.

Tableau 2. Effet de l'inoculation avec *R. japonicum* et de la fertilisation avec l'urée sur le rendement en grains de la variété de soja TGM80 à sept sites en Afrique.

(tonnes/hectare)

Site	Urée		Rhizobium <i>japonicum</i> <u>1</u> /
	Non inoculé	90 kg N/ha	
Ibadan (Nigeria)	2,66	3,16	3,02
Onne (Nigeria)	0,39	0,81	1,43
Bouaké (Côte-d'Ivoire)	2,69	3,44	2,62
Mtwapa (Kenya)	2,33	2,16	3,56
Kabete (Kenya)	0,37	0,30	0,36
Homa Bay (Kenya)	2,52	3,35	3,10
Sefa (Sénégal)	0,71	2,22	1,14
Moyenne	1,67	2,21	2,18
Accroissement (%)	-	32	31

1/ Moyenne des rendements obtenus séparément avec les souches de *R. japonicum* IRj 2101 spc (résistante à la spectinomycine), IRj 2114 str (résistante à la streptomycine), IRj 2111 et IRj 2123

De même, le greffage d'un cultivar à haut rendement (TGM 80) sur la racine d'un cultivar non spécifique (TGM 918) s'est avéré bénéfique (IITA, 1979).

3. Etude de la survie, de la persistance et de la compétitivité des souches inoculées

Contrairement à la fertilisation au moyen d'engrais azotés, nécessaire au cours de chaque saison de culture, une seule inoculation convenable peut bénéficier à une légumineuse donnée durant les saisons suivantes si les bactéries introduites survivent et se maintiennent dans le sol sans perdre leur pouvoir symbiotique et fixateur d'azote.

Ainsi, des essais faisant appel à des souches résistantes aux antibiotiques ont été menés pour étudier la persistance du Rhizobium et pour essayer de comprendre les facteurs qui affectent ce caractère ainsi que la capacité de compétition.

Les résultats obtenus (Tableau 3) à Ibadan (alfisol; pH 5,4; pluviométrie: 1200 mm; Al 0,1 me/100g; 5 R. japonicum/g sol) et à Onne (ultisol; pH 3,7; pluviométrie: 2400 mm; Al: 1,40 me/100g; < 5 R. japonicum/g sol) au Nigeria, montrent que, dans les sols acides d'Onne, le chaulage et l'inoculation ont amélioré le rendement lors de la première saison, tandis que seul le chaulage a entraîné un certain accroissement du rendement la saison suivante. Comme, durant cette dernière, la grande majorité des nodules dans les parcelles inoculées au premier semis contenaient les souches introduites, l'on pourrait penser que les inoculums ont perdu leur pouvoir fixateur d'azote, alors que leur capacité de compétition pour la nodulation a été maintenue (IITA, 1980c). A Ibadan, l'inoculation n'a pas eu d'effet sur le rendement en grains (Tableau 3), mais 100% des nodules des plantes inoculées contenaient les souches introduites, contre moins de 10% dans les parcelles non inoculées, provenant sans doute de contaminations, ainsi que l'ont confirmé les analyses sérologiques (IITA, 1980c).

Tableau 3. Effet du chaulage et de l'inoculation avec R. japonicum sur le rendement en grains du soja TGM 80 au 1er et 3ème semis (tonne/hectare)

Traitement	1er semis <u>1</u> /		3ème semis <u>2</u> /	
	non chaulé	+ chaux <u>3</u> /	non chaulé	+ chaux <u>3</u> /
A. Onne (sol acide pH 4,6)				
Non inoculé	0,33	0,85	0,35	0,44
Urée	0,80	1,39	0,31	0,60
Inoculé avec IRj 2114 str	2,08	1,96	0,25	0,39
Inoculé avec IRj 2101 spc	1,93	1,95	0,65	0,84
B. Ibadan (pH 6,5)				
Non inoculé	2,10		1,70	
Urée <u>4</u> /	2,26		1,72	
Inoculé avec IRj 2114 str	2,34		1,75	
Inoculé avec IRj 2101 spc	2,33		1,90	

1/ Les graines ont été inoculées avant le premier semis seulement

2/ Les graines ont été semées dans les mêmes parcelles que la saison précédente mais sans inoculation

3/ 1 t/ha avant chaque semis, à Onne seulement

4/ Trois fois 50 kg N/ha d'urée, une fois au moment du semis, une fois à la floraison et finalement au remplissage des gousses

L'étude de la survie et de la persistance des inoculums dans le sol est également en cours dans d'autres pays africains.

4. Production d'inoculums à petite échelle et formation de rhizobiologistes - techniciens

Des inoculums de haute qualité, contenant environ 10^9 Rhizobium/g tourbe, sont préparés pour les recherches en microbiologie du sol dans le cadre du Programme des systèmes de cultures, à l'intention de tout chercheur qui les désire. On a ainsi fourni des inoculums à des laboratoires de Nigeria, Sénégal, Sierra Leone, Côte-d'Ivoire, Kenya, Ghana, Zambie, Bénin et République Populaire du Congo.

Plusieurs jeunes microbiologistes ont bénéficié de stages sur la technologie du Rhizobium/légumineuses à l'IITA en 1977 et en 1979. Un autre stage est organisé en 1981 dans ce même domaine.

B. RECHERCHES SUR LE NIEBE

Les recherches sur le niébé suivent pratiquement la même démarche que celles consacrées au soja. Cependant, le niébé, à l'instar des variétés de soja d'origine asiatique, peut noduler avec les souches rhizobiennes autochtones, et la littérature rapporte des résultats contradictoires quant à l'intérêt d'inoculer le niébé en champ.

1. Etude de la diversité et de la densité des populations de Rhizobium capable de noduler le niébé, dans plusieurs agrosystèmes

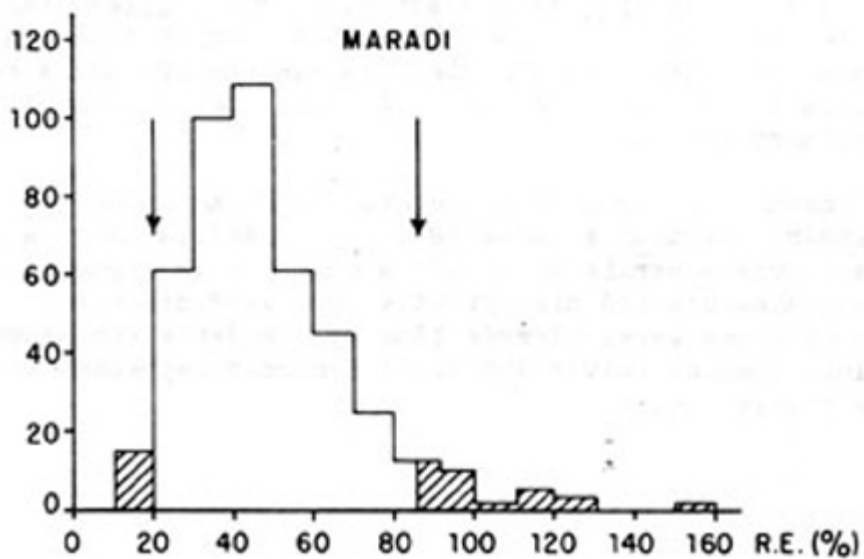
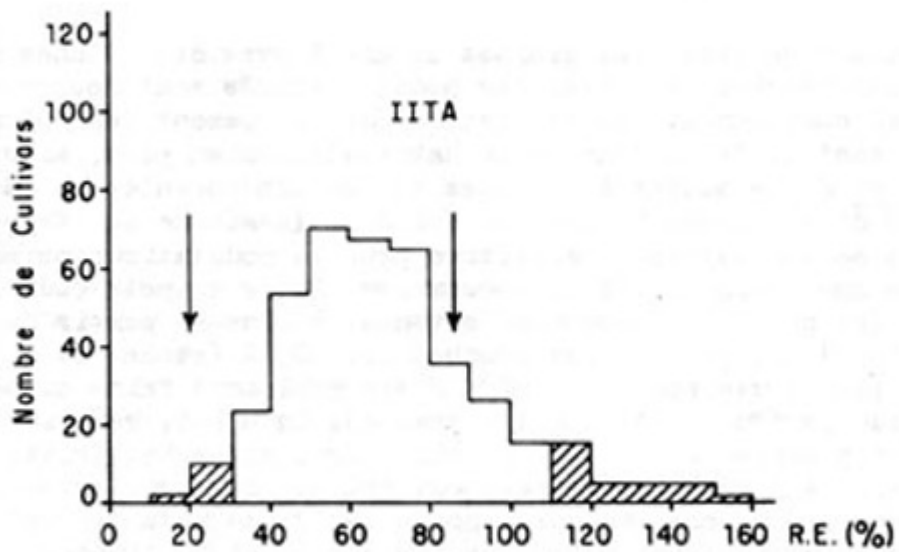
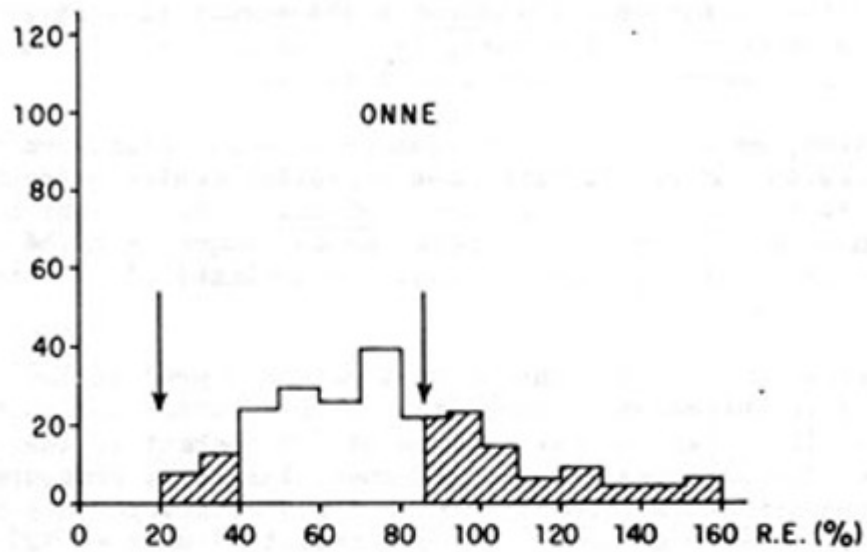
On a planté environ 500 variétés différentes de niébé à Ibadan et à Onne (Nigeria) et à Maradi (Niger), ces trois sites représentant assez bien les conditions édaphiques et climatiques des régions de culture du niébé. Le sol de Maradi est pauvre en Ca, en P et en N et contient relativement peu de Rhizobiums du groupe niébé (environ 400/g sol); Maradi est également caractérisé par une faible pluviométrie et des températures élevées. Le sol d'Onne est acide, pauvre en Ca mais riche en Al; c'est une station à forte pluviométrie. Le sol de l'IITA à Ibadan est intermédiaire (Kulongoy et al., 1980).

A chaque site, les variétés ont été plantées sans et avec azote sous forme d'urée. Six semaines après, leur efficacité relative 1/ a été calculée. Il s'entend que si une variété fixe beaucoup d'azote symbiotiquement, son poids dans les parcelles non azotées sera élevé, et par conséquent son efficacité relative sera supérieure.

1/ Efficacité relative =

$$\frac{\text{poids frais de 10 plantes dans les parcelles non azotées}}{\text{poids frais de 10 plantes dans les parcelles azotées}} \times 100$$

Figure 1 — Distribution des valeurs d'efficacité relative de différents cultivars du niébé (essais 1979)



La figure 1 montre qu'à Ibadan, la plupart des variétés avaient une efficacité relative entre 40 et 80%, à Onne, entre 50 et 60% et à Maradi, entre 20 et 60%. Ainsi la symbiose Rhizobium/niébé serait plus défavorablement affectée à Maradi qu'à Onne; d'autre part, cette symbiose n'est que moyennement efficace en ce qui concerne la fixation de l'azote.

A chaque station, on a examiné l'efficacité relative d'environ 45 bonnes variétés et 15 variétés médiocres. Parmi ces variétés, quatre se sont avérées excellentes dans les trois stations (Mulongoy et al., 1980). Ainsi a été justifié un examen plus critique des variétés de la banque de niébé de l'IITA en vue de sélectionner celles qui formeraient une symbiose efficace dans les sols pauvres d'Onne et de Maradi.

Des 60 cultivars considérés à chaque station, on a prélevé les nodules et isolé et purifié le Rhizobium au laboratoire. La caractérisation sur Yeast-Mannitol-Agar (YMA) des isolats obtenus en 1979 permet de les subdiviser en deux catégories: 385 colonies sont relativement larges et gommeuses; 369 colonies sont punctiformes (diamètre ≤ 1 mm) et d'apparence plus sèche, soit 98% des isolats obtenus à Maradi, 31% des isolats d'Onne et 12% des isolats de l'IITA.

Lorsqu'on inocule en pots les graines de niébé avec des souches qui forment des colonies «sèches» sur YMA, les nodules formés sont pourpres, tandis que ceux qui contiennent les souches qui développent des colonies gommeuses sur YMA sont de la couleur beige habituelle. Bien plus, si un même nombre de Rhizobiums d'une souche à colonies sèches est inoculée en même temps que des Rhizobiums d'une souche à colonies humides, la souche qui forme des colonies gommeuses se montre plus compétitive pour la nodulation, puisque 90% des nodules formés sont beiges. Cette observation, faite en pots pour les souches IRc 344 A (sèche) et B (gommeuse) obtenues à Onne (à partir de la variété de niébé TVu 1957) et pour les souches IRc 409 A (sèche) et C (gommeuse) obtenues à Maradi (de la variété TVu 1811), a été également faite en champ à Maradi pour les souches IRc 409 A et C (Tableau 4). En effet, sans inoculation, 34% des nodules sont pourpres et 66% de couleur beige; après bactérisation des graines avec une souche à colonies sèches, environ 50% des nodules sont pourpres, mais si l'on utilise une souche gommeuse, moins de 12% de nodules montrent ce caractère. Bien plus, comme l'indiquent les Tableaux 4 et 5, la souche IRc 409 C est non seulement plus compétitive mais aussi plus apte à fixer l'azote que la souche IRc 409 A. De même, la souche IRc 344 B, plus compétitive (en pots), est plus efficace dans la fixation de l'azote. Les souches IRc 462 A et D, dont la compétitivité fera l'objet d'une étude ultérieure, ont une activité nitrogénasique similaire (Tableau 5).

Un essai préliminaire d'inoculation du niébé à Maradi (1980) n'a pas donné de résultat intéressant, surtout à cause de l'hétérogénéité dans la fertilité du sol du champ. Dans d'autres essais effectués à Onne, ni la vigueur des plantes ni le rendement en grains n'a été significativement amélioré par l'inoculation; cependant, puisque dans ces essais l'urée (100 kg N/ha) n'a non plus eu d'effet, avec ou sans chaulage (Rao et Pulver 1980), il faudrait reprendre ces expériences dans de meilleures conditions.

Tableau 4. Nombre et caractéristiques des nodules de quelques variétés de niébé non inoculées ou inoculées avec Rhizobium à Maradi

Inoculum	Variété de niébé	nombre total de nodules/ 3 plantes	Nodules pourpres %
Non inoculé	TVx1952-01E	57	19,3
	TVx1850-01E	33	45,5
	Dan Haoussa	112	40,2
	VITA 1	78	29,5
	VITA 4	25	36,0
	VITA 5	22	36,4
IRo 1/409 A	TVx1952-01E	50	42,0
	TVx1850-01E	44	45,5
	Dan Haoussa	109	51,4
	VITA 1	30	53,3
	VITA 4	38	50,0
	VITA 5	24	54,2
IRo 409 C	TVx1952-01E	59	6,8
	TVx1850-01E	60	6,7
	Dan Haoussa	49	28,6
	VITA 1	56	10,7
	VITA 4	11	27,3
	VITA 5	31	6,5

1/ Préfixe du numéro d'ordre des souches de Rhizobium du groupe d'inoculation croisée du niébé dans le catalogue de l'IITA

Tableau 5. Activité nitrogénasique (réduction de l'acétylène) de quelques Isolats (Rhizobium) en symbiose avec la variété du niébé ER-1

<u>Rhizobium</u>	Niébé-hôte/ site d'origine	Activité spécifique (nmoles C ₂ H ₄ /mg poids sec de nodules/h)
IRo 462 D	TVu 179/IITA	202
IRo 462 A	TVu 179/IITA	192
IRo 409 C	TVu 1811/Maradi	149
IRo 409 A	TVu 1811/Maradi	66
IRo 344 B	TVu 1957/Onne	70
IRo 344 A	TVu 1957/Onne	39

2. Identification des variétés de niébé et souches de Rhizobium capables de symbioses les plus efficaces en sols acides (H⁺ et/ou Al) ou pauvres en N et P

Treize variétés de niébé (et 7 de soja) ont été plantées avec et sans P et/ou N, en utilisant 4 niveaux de fertilité: N₀P₀, N₀P₁, N₁P₀ et N₁P₁.

Tous les traitements ont été comparés à NP, dans lequel ni l'azote ni le phosphore n'est limitant. Les résultats (non publiés) sont peu intéressants puisque, dans l'ensemble, les variétés qui montraient des valeurs d'efficacité relative élevées dans une station montraient en revanche des valeurs peu élevées ailleurs. Néanmoins, ils indiquent que l'azote et le phosphore augmentent considérablement la production de la matière végétale du niébé. Il serait donc utile de trouver des moyens de réduire cette dépendance, par exemple en inoculant le niébé avec *Rhizobium* et les mycorrhizes.

3. Evaluation des quantités d'azote fixé et transférable aux cultures suivantes

Pour évaluer les quantités d'azote fixé par le niébé, on a cultivé du maïs plusieurs fois sur un sol du type alfisol afin de réduire le contenu en azote du sol et l'uniformiser. Au semis, l'engrais azoté (sulfate d'ammonium) a été enrichi en azote-15.

Les symbioses impliquent les variétés de niébé ER-1 et TVu 4552, dont la tige principale a une croissance limitée, fixent moins d'azote que les variétés TVu 3629 et TVu 1190, dont la tige principale a une croissance pour ainsi dire illimitée; l'association A. japonicum soja fixe le plus d'azote (Tableau 6). L'engrais azoté à des doses de 100 kg N/ha entraîne une inhibition de la fixation d'azote de 53% en moyenne, tandis que des doses de 25 kg N/ha utilisées par certains chercheurs pour stimuler la fixation («starter dose»), l'inhibent également de 17% en moyenne.

Le bilan d'azote pour le niébé comparé à celui pour le soja et le maïs, à deux niveaux d'azote disponible au semis (0-25 et 50-80 kg N/ha) a été calculé comme la quantité d'azote fixé soustraite de la quantité d'azote des graines (Tableau 7). Quand la concentration en azote disponible est faible, seuls TVu 3629 et TVu 1190 enrichissent le sol en azote; à des concentrations d'azote disponible relativement élevées, TVu 1190 enrichit encore le sol en azote tandis que les autres variétés et le soja épuisent l'azote du sol tout comme le maïs.

Tableau 6. Effet de l'engrais azoté sur les quantités d'azote fixé par le soja et quelques variétés de niébé (kg/ha)

Légumineuse et cultivar	Taux d'engrais		
	0	25 kg N/ha	100 kg N/ha
Niébé ER-1	53	42	24
TVu 4552	44	45	14
TVu 3629	82	82	40
TVu 1190	124	101	63
soja N59-5253	195	145	94
Moyenne	100	83	47

Source: Eaglesham (non publié)

Aussi, l'excrétion de substances azotées des racines de *Vigna radiata* en faveur du maïs en culture associée a été estimée à 12 kg N/ha (IITA,1980b). Compte tenu du fait que cette pratique est généralisée, il importe d'approfondir ces études en vue de démontrer sans équivoque le transfert d'azote de la légumineuse au maïs, en particulier dans le cas du niébé.

III. Conclusion: Programme de recherches futures

La démarche suivie dans le programme de recherches sur le niébé et sur le soja est la même. Cependant, les variétés de soja agronomiquement les plus intéressantes disposent de peu ou pas de *R. japonicum* spécifiques dans les sols tropicaux, sans histoire d'inoculation. La vigueur et le rendement de ces variétés sont considérablement améliorés par l'inoculation au moyen de souches de *Rhizobium* appropriées.

Encore faut-il démontrer la valeur de l'inoculation au niveau des champs des paysans. D'autre part - et ceci est aussi valable pour le niébé - il est important d'étudier, notamment avec des souches marquées:

- 1) la survie des inoculums dans le sol, en réduisant au maximum les contaminations d'une parcelle à une autre dans les essais; et
- 2) les facteurs édaphiques et climatiques qui contrôlent la persistance des souches inoculées et leur capacité fixatrice d'azote, qui semble diminuer après la première saison. Cette étude établira s'il est nécessaire d'inoculer les légumineuses seulement lors du premier semis ou bien, à l'instar de l'application des engrais, s'il faut les inoculer à chaque saison de culture.

Plusieurs formes d'inoculums existent: des suspensions, des poudres avec, par exemple, la tourbe ou le sol comme support, et des granulés. Les chercheurs préconisent l'utilisation de l'une ou l'autre forme essentiellement en fonction des caractéristiques de l'environnement. Cette question mérite des études approfondies.

Tableau 7. Bilan d'azote en termes de gain (+) et perte (-) d'azote de deux légumineuses comparées au maïs, à deux niveaux d'azote disponible.
(kg/ha)

Culture et cultivar	N disponible (kg/ha)	
	0 - 20	50 - 80
Niébé ER-1	- 6	- 30
TVu 4552	- 1	- 39
TVu 3629	+ 25	- 12
TVu 1190	+ 56	+ 14
Soja N59-5253	- 20	- 60
Maïs BG-666-4	- 32	- 61

Source. Eaglesham (non publié)

Le calcul du bilan d'azote et l'influence des interactions Rhizobium cultivar de soja ou de niébé et Rhizobium autres micro-organismes sur ce paramètre constituent un domaine de recherches dont les résultats aideraient à calculer avec plus ou moins d'exactitude les quantités d'engrais azotés à pourvoir à une culture, durant une saison donnée. De même, la coexistence du Rhizobium avec les mycorrhizes vésiculo-arbusculaires ou avec les autres fixateurs d'azote présente un intérêt pratique, puisque la productivité du niébé et du soja est améliorée par l'usage d'engrais azotés et phosphorés et que le taux d'azote du sol détermine le degré de fixation de l'azote.

En ce qui concerne le niébé en particulier, il faut d'abord identifier les souches les plus efficaces dans la fixation de l'azote, douées d'un pouvoir compétitif supérieur à celui des souches autochtones et résistantes aux conditions de l'environnement. Cette exigence satisfaite, il sera peut-être possible de réaliser une inoculation profitable.

On est convaincu qu'au terme des recherches sur la fixation symbiotique de l'azote à l'IITA, on parviendra à améliorer la productivité qualitative et quantitative du niébé et du soja avec un minimum d'intrants. La démarche suivie et les résultats obtenus pourront certainement être appliqués à d'autres symbioses Rhizobium/légumineuses.

Remerciements

Certaines des données présentées ici sont les résultats de travaux non encore publiés de mes collègues: A. Ayanaba, Y. Ranga Rao, A.R.J. Eaglesham, E.S.P. Bromfield, E.L. Pulver et E. Kueneman. Je leur exprime ma reconnaissance, ainsi qu'au PNUE et au PNUD, qui financent en partie le programme de la fixation symbiotique de l'azote à l'IITA.

Je remercie tout particulièrement V. Ranga Rao pour son assistance durant la rédaction du manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

- IITA 1978a. Le point de la recherche a l'IITA 1977, Ibadan, Nigeria
- IITA 1978b. Les tropiques: un défi, Ibadan, Nigeria
- IITA 1979. Le point de la recherche à l'IITA 1978, Ibadan, Nigeria
- IITA 1980a. Le point de la recherche 1979, Ibadan, Nigeria
- IITA 1980b. Final Report to the UNEP on improving the nitrogen contribution from legume rhizobia to crops and soil fertility in the lowland humid tropics Project FP/1108-75-06 (pp/773)
- IITA 1980c. IITA 1979 Annual Report, Ibadan, Nigeria
- Keyser, H.H. et D.N. Munns, 1979, Soil Science Society of America Journal. 43, 519-523
- Mulongoy, K., A. Ayanaba et E.L. Pulver 1980. Présenté lors de la VIème Conférence sur l'Impact Global de la Microbiologie Appliquée. Août-Sept. 1980, Lagos, Nigeria.
- Rao, V.R., A. Ayanaba, A.R.J. Eaglesham et E.A. Kueneman, 1980. Présenté lors de la VIème Conférence sur l'Impact Global de la Microbiologie Appliquée. Août-Sept. 1980, Lagos, Nigeria.
- Rao, V.R. et E.L. Pulver, 1980. Présenté lors de la VIème Conférence sur l'Impact Global de la Microbiologie appliquée, Août-Sept.1980, Lagos, Nigeria.

TRAVAUX REALISES EN HAUTE-VOLTA DANS LE DOMAINE
DE LA FIXATION BIOLOGIQUE DE L'AZOTE

Par

B. DELVAUX

Dans le cadre d'un programme conjoint FAO-PNUE une mission de consultants avait pour objectif de fournir des éléments d'évaluation sur les possibilités et perspectives d'un programme «Fixation biologique de l'azote» en Afrique de l'Ouest. La consultation a été centrée sur la réalisation d'essais annuels d'inoculation de légumineuses tropicales avec des souches spécifiques de Rhizobium. Les essais se sont déroulés simultanément dans les quatre pays suivants : Haute-Volta, Sénégal, Cote d'Ivoire et Zaire.

Les essais d'inoculation ont été réalisés sur la base de trois traitements:

- 1) témoin
- 2) fumure minérale azotée
- 3) inoculation

avec pour objectif d'évaluer l'effet bénéfique de l'inoculation sur la fixation d'azote et le rendement.

Deux types d'essais furent mis en place dans deux cadres institutionnels différents:

- 1) essais multilocaux (deux répétitions) dans les champs d'agriculture réalisés par le personnel du Programme engrais de la FAO
- 2) essais plus lourds (quatre à six répétitions avec trois à cinq traitements) pris en charge par les instituts de recherche.

ESSAIS D'INOCULATION DE L'ARACHIDE REALISES EN 1979

1. Matériel et techniques

Le dispositif d'essai étant fixé, les pratiques culturales les doses de fumure phospho-potassique et les variétés de plantes ont été choisies en se référant aux instituts de recherches agronomiques (IRAT, IRH0)

2. Inoculation

Inoculum commerciale NITRAGIN (USA)
Inoculum de laboratoire (INRA)

Le support était de la tourbe broyée et stérilisée. Plusieurs souches ont été mélangées dans le même inoculum.

La dose d'inoculation a été de 10^6 Rhizobium par graine.

3. Techniques d'inoculation

L'inoculation a été réalisée par enrobage des graines juste avant le Semis, cette technique étant aisément applicable et étant à priori la moins coûteuse.

4. Réalisation

Espèce de légumineuse cultivée ; arachide (*Arachia hypogaea*)

variété : T 30

Nombre d'essais : 5 essais sous climat sahélo-soudanien, zone sahélienne
(Nord du pays)

3 essais sous climat soudano-sahélien, en zone sahélienne
(Sud-Ouest du pays)

Chaque essai comprenait deux répétitions des quatre traitements suivants :

1. témoin
2. fumure azotée
3. inoculum de laboratoire
4. Nitragin

Fumure minérale PK sur l'ensemble de l'essai : 100 kg/ha Super Triple
(36 à 48 U de P O)
50 kg/ha KCl (30 U de K O)₂

Inoculation par enrobage des graines à une dose équivalente à 2,5 kg/ha sous forme d ' inoculum 'tourbe'.

Mesures effectuées :

1. rendement à la récolte
2. nombre de nodosités en cours de cycle
3. densité de plants à la récolte

I. Analyse de rendement

L'étude des rendements montre une réponse différente de l'arachide aux différents traitements selon que les essais sont réalisés en zone sahélienne ou en zone soudanienne.

Il convient toutefois de ne pas comparer directement les rendements obtenus en zone Nord par rapport à ceux de la zone Sud. Les premiers apparaissent en effet particulièrement élevés (de l'ordre de 600 kg/ha), sans doute en raison d'une fumure phospho-potassique élevée et éventuellement d'une pesée des gousses avant que celles-ci ne soient totalement sèches. En effet, en zone Sud les gousses ont été pesées après séchage en étuve, tandis qu'en zone Nord, il n'a été réalisé qu'un séchage partiel à l'air libre.

Seront discutés ici, uniquement les différences de réponse aux traitements de fumure minérale azotée et inoculations, comparées au témoin.

a) Zone sahélienne

Il a été obtenu dans cette zone Nord de la Haute-Volta, un effet positif de la fumure minérale azotée qui, appliquée à une dose équivalente à 150 N/ha, s'est traduite par une augmentation moyenne de rendement de 30% (Tableau 1).

TABLEAU 1 : RENDEMENT DE GOUSSES A LA RECOLTE (kg/ha)

	Lieu d'essai	Témoin	Fumure minérale azotée	Inoculum de laboratoire	Inoculum "Nitragin"
Zone sahélienne	Ouahigouya	1 545	2 500	1 563	1 701
	Ouahigouya	2 153	2 257	1 580	2 083
	Ouahigouya	1 911	2 604	1 528	1 545
	Ouahigouya	2 326	2 792	2 772	2 535
	Bougounam	903	1 530	1 007	1 339
	Moyenne	1 285	1 389	1 319	1 319
Zone soudanienne	Oronkua	633	753	833	856
	Oronkua	698	867	895	1 160
	Tiankoura	883	880	738	671
	Diebougou	914	957	1 068	1 080
	Diebougou	756	1 065	586	784
	Moyenne	711	843	792	882

La nutrition azotée de l'arachide à partir de l'azote du sol (activité nitrate réductase) et de l'azote atmosphérique (activité nitrogénasique des nodosités) serait donc déficitaire en parcelle témoin (à moins que les 30% de différence de rendement correspondent totalement à un coût énergétique plus élevé de la réduction nitrogénasique de l'azote moléculaire par rapport à la réduction des nitrates du sol). (Voir Tableau 2).

En revanche, l'inoculation n'a eu aucun effet positif sur le rendement dans les essais où l'inoculation était appliquée par enrobage des graines.

Il convient de remarquer que la densité de plants à la récolte était appréciablement plus faible dans les parcelles inoculées des essais de Ouahigouya. Ce résultat confirmerait l'hypothèse déjà émise: l'inoculation par enrobage des graines provoquerait un effet dépressif par fonte de semis. Il apparaît en fait dans ces essais que le rendement moyen par plante dans les parcelles inoculées est comparable à celui des parcelles ayant reçu de l'azote (28 et 26 gr de gousse/pied dans les traitements 3 et 4, 29 gr de gousse/pied dans le traitement 2), et supérieur à celui des parcelles témoin (21 gr de gousse/pied dans le traitement 1).

TABLEAU 2 : ANALYSE DES SOLS (moyenne de 2 prélèvements à 10-20 cm et 30-40 cm)

	pH eau	Matière organique %	Carbone total %	Azote total %	Pass.
Ouahigouya I-II	5,0	0,61	0,35	0,040	5
Ouahigouya III-IV	5,1	0,67	0,39	0,039	6

Source: Service national des sols de Haute-Volta

b) Zone soudanienne

Un effet positif de l'inoculation de l'arachide est obtenu dans cette zone dans le cas du traitement 4. Il serait ainsi possible d'obtenir une augmentation de rendements de l'ordre de 10% du poids sec de gousse résultat voisin de celui obtenu par inoculation de légumineuses fourragères annuelles avec le CERCI dans la vallée du Sourou, également sur précédent cultural de jachère,

L'effet positif de la fumure minérale azotée sur le rendement est moins significatif, mais ceci serait dû à l'application de 75N de sulfate d'ammoniac concentrée dans les lignes de semis, qui a provoqué un manque de levée des graines (cf. Tableau 3). En revanche, aucun effet de fonte de semis dans les traitements inoculés n'a été observé dans ces essais de zone soudanienne.

TABLEAU 3 : DENSITE DE PIEDS A LA RECOLTE

Lieu d'essai	Témoin	Fumure minérale azotée	Inoculum de laboratoire	Inoculum "Nitragin"
Zone sahélienne	91 667	88 889	70 883	68 750
Zone soudanienne	57 460	35 031	53 293	59 680

II. Mesures de nodulation en cours de cycle

Les dénombrements de nodosités mettent en évidence une nodulation moyenne très faible dans la zone sahélienne (environ 30 nodosités par plante) par rapport à la zone soudanienne (de l'ordre de 160 nodosités par plante) quel que soit le traitement.

TABLEAU 4 : NOMBRE DE NODOSITES PAR PLANTE AU 60^e JOUR
(Moyenne de 10 plantes)

	Lieu d'essai	Témoin	Fumure minérale azotée	Inoculum de laboratoire	Inoculum "Nitragin"
ZONE SAHELIENNE	Ouahigouya	19	22	24	17
	Ouahigouya	23	36	90	54
	Ouahigouya	16	21	33	14
	Ouahigouya	26	44	90	62
	Bougounam	20	13	11	12
	Bougounam	46	32	10	35
	Moyenne	25	28	43	32
ZONE SOUDANIENNE	Oronkua	148	85	131	138
	Oronkua	135	89	118	137
	Tiankoura	175	222	190	207
	Tiankoura	190	199	128	146
	Diebougou	269	195	195	168
	Diebougou	210	77	197	116
	Moyenne	188	145	160	152

En revanche, il n'apparaît aucune différence significative de nodulation entre les différents traitements entre les deux zones d'essai. L'inoculation n'a donc pas permis d'augmenter de façon significative le nombre de nodosités par plante. On ne retrouve pas notamment l'effet dépressif de la fumure minérale azotée sur la nodulation, qui a pu être mis en évidence chez d'autres légumineuses annuelles au cours de cette mission d'essais.

L'effet positif de l'inoculation sur le rendement de l'arachide en zone soudanienne résulterait donc de la présence de souches de Rhizobium dans l'inoculum, plus efficaces que les souches natives présente dans le sol. Une partie des nodosités des plantes des parcelles du traitement 4 proviendrait de l'infection par les souches de l'inoculum, et leur capacité fixatrice d'azote plus élevée se traduirait par une meilleure nutrition azotée de la plante et par suite par l'augmentation observée du rendement. (Cette hypothèse pourrait être vérifiée à l'aide du repérage des souches par fluorescence ou de l'utilisation de souche résistantes aux antibiotiques.) L'absence d'augmentation du nombre de nodosités avec inoculation ne surprend pas, compte tenu de la nodulation relativement élevée des plantes témoin (188 nodosités/plante en moyenne).

Il n'en est pas de même en zone sahélienne où le nombre moyen de 25 nodosités/plante dans les parcelles témoin apparaît particulièrement faible, s'agissant de la même variété d'arachide. L'absence d'effet de l'inoculation dans ces conditions oblige à formuler deux séries d'hypothèses:

- Les premières concernent le milieu, qui serait défavorable à l'activité du Rhizobium. On sait, à la suite de différents travaux de l'ISRA et l'ORSTOM au Sénégal, qu'en sols acides sous climat sahélo-soudanien, plusieurs facteurs édaphiques sont à l'origine d'une faible nodulation de l'arachide et, semble-t-il, d'une faible population de Rhizobium dans les sols. Il résulterait de ces conditions défavorables un taux de mortalité très élevé des Rhizobium introduits dans le sol par inoculation, et de ce fait l'absence d'effet de cette pratique en zone sahélienne.
- Les secondes concernent la technique d'inoculation. On a déjà vu que l'enrobage des graines pourrait avoir un effet dépressif sur la germination. Par ailleurs, la dose utilisée sans autre protection des Rhizobium (par exemple, enrobage simultané des graines avec de la chaux) n'aurait pas permis d'atteindre un niveau suffisant de la population de Rhizobium vivants dans le milieu racinaire. (Dans ces conditions défavorables du milieu, un résultat positif de l'inoculation a pu être obtenu en utilisant des doses massives (environ 200 l/ha) d'inoculum liquide (10^9 bact/ml) épandu directement dans la ligne de semis.)

L'importance de telles hypothèses à la lecture des résultats conduit proposer des expérimentations complémentaires qui appliquées à l'arachide ou au niébé, porteraient sur la mise au point d'une technique d'inoculation et sur l'influence de pratiques culturales qui par un effet spécifique sur le milieu édaphique, favoriseraient la nodulation à partir de souches natives ou de l'inoculation et ainsi la fixation biologique de l'azote et le rendement de ces légumineuses à graine en zone sahélienne.

CONCLUSIONS

A) En zone sahélienne:

- . Le rendement de l'arachide en Haute-Volta apparaît limité par la nutrition azotée.
- . L'inoculation n'a pas eu d'effet positif ni sur le rendement, ni sur la nodulation.
- . Le très faible niveau de nodulation ainsi que l'absence d'effet seraient dus à différents facteurs édaphiques défavorables à l'activité des Rhizobium.

B) En zone soudaniennes

- . La nodulation à partir de la population native de Rhizobium dans les sols est beaucoup plus élevée et on obtient une augmentation de 10 % de rendement grâce à l'inoculation.
- . Cependant en Haute-Volta la méthode culturale par enrobage des graines n'est vraisemblablement pas vulgarisable, et ce pour trois raisons:
 - l'augmentation de rendement n'est pas suffisante pour justifier cette technique (en zone sahélienne pas d'augmentation en zone soudanienne 10 %);
 - l'enrobage doit se faire avec de l'eau distillée, peu disponible en brousse;

- l'enrobage doit se réaliser à l'abri du soleil ce qui dans un pays sahélien pose de nombreux problèmes.
- . De plus l'IRH0, à la suite d'essais analogues a constaté qu'à cause de la durée de la saison sèche (7 mois) tout était détruit le sol n'étant plus infesté pour l'année suivante.
- . Peut-être y a-t-il d'autres méthodes d'inoculation plus adaptées aux pays sahéliens et qu'on pourrait examiner dans les années à venir.

LE DEVELOPPEMENT DE L'EMPLOI DE LA FIXATION SYMBIOTIQUE

DE L'AZOTE

PAR L'INTRODUCTION DE NOUVELLES SOUCHES DE RHIZOBIUM :

Expérience zairoise

par

L . KUMIDIMATA

1. HISTORIQUE

Dans le but d'améliorer économiquement la fumure azotée au niveau des exploitants, le Programme national engrais de la FAO s'est préoccupé dès septembre 1979 à inclure dans ses activités un programme test sur la fixation symbiotique de l'azote par l'introduction de nouvelles souches de Rhizobium sur légumineuses alimentaires (arachide et soja). Ainsi, dans l'ensemble des régions de travail de ce Programme (Baa-Zaïre, Kasai-Oriental, Shaba), quatre essais de Rhizobium sur arachide (variété locale) et cinq essais sur soja (variété TGM) ont été réalisés au cours de la campagne culturale février/mars 1980.

2. PROTOCOLE D'ESSAI D'INOCULATION DES LEGUMINEUSES

- 2 blocs à 5 parcelles chacun ;
- les traitements étaient :
 - 1 sans inoculation + engrais à 0-80-40
 - 2 sans inoculation + engrais à 150-80-40
 - 3 inoculation (graine) + engrais à 0-80-40
 - 4 inoculation (sol)+ engrais à 0-80-40
 - 5 inoculation (graine) sans fumure minérale (témoin)
- parcelle élémentaire de 6 m x 10 m, allées de 2 m entre les parcelles et entre les blocs, chaque allée étant parcourue d'une butée longitudinale semée;
- l'ensemble du champ entouré d'une allée de 3 m destinée à le protéger contre les parasites éventuels.

Méthodes de relèvement des échantillons

- Mesure de nodulation :

Le dénombrement des nodosités est réalisé au début de la floraison et le trentième jour après cette période.

Chaque parcelle comprend deux sous-parcelles de prélèvement, situées aux deux extrémités. On prélève cinq plantes voisines dans chaque sous-parcelle, soit 10 plantes/parcelle, de la manière suivante : Dans chaque sous-parcelle de prélèvement, sur une ligne de semis proche du milieu, à 0,5 m du bord de la parcelle, on déterre soigneusement 5 plantes consécutives. On compte les nodosités présentes sur le système racinaire de chaque plante, qui est ensuite séchée au soleil pendant une semaine, puis pesée.
- Mesure de rendement :

Le prélèvement est réalisé à la récolte pour les plantes de la parcelle utile située entre les sous-parcelles de prélèvement, mais en éliminant de chaque côté les deux lignes extérieures de semis. L'ensemble des plantes prélevées dans chaque parcelle utile constitue pour la parcelle la récolte utile, dont on mesure le poids des gousses, le poids des parties aériennes et le nombre total des plantes.

3. RESULTATS

Les données obtenues sur l'ensemble des essais menés sur arachide et soja ont été traitées par ordinateur. Globalement les analyses indiquent des variances selon les régions dans lesquelles les essais ont été réalisés et les traitements appliqués au cours des essais.

Les rapports de significativité sont établis selon le test de Duncan niveau 0,10.

3.1 Arachide

3.1.1 Effets sur les rendements

TABLEAU 1 - Rendement de l'arachide en fonction des traitements appliqués 1/
(Kg/ha)

Parcelle	Traitements	Moyenne de rendement	Significativité
(2)	sans inoculation + NPK	2.959,500	A
(4)	inoculation (sol) + PK	2.802,875	A
(3)	inoculation (graine) + PK	2.312,375	A B
(5)	inoculation (graine) sans fumure (témoin)	1.924,375	B
(1)	sans inoculation + PK	1.795,500	B

1/ 8 observations

Il en résulte :

- 1) que l'arachide ne présente pas de réponse à la seule fumure PK
- 2) une excellente réponse à la fumure NPK (le meilleur rendement par rapport au témoin)
- 3) peu de réponse à la seule inoculation
- 4) une bonne réponse à la combinaison inoculation + fumure PK, économiquement le meilleur traitement.

TABLEAU 2 - Nombre de nodosités sur arachide en fonction des traitements

Par- celle	Traitements	Moyenne du nombre des nodosités			
		début de floraison <u>1/</u>	Significativité	30 jours après début de floraison <u>2/</u>	Significativité
{1}	sans inoculation + PK	85,4	A	100,7	A
{4}	inoculation (sol) + PK	85,0	A	90,2	B
{3}	inoculation (graine) + PK	73,8	A B	129,9	B
{2}	sans inoculation + NPK	72,4	A B	95,2	B
{5}	inoculation (graine) sans fumure (témoin)	61,0	B	61,5	C

1/ Moyenne de 80 observations

2/ Moyenne de 40 observations

Il en résulte que :

- 1) en début de saison, il y a moins de nodosités sur arachide
- 2) en fin de saison, les différences dues aux traitements sont plus grandes
- 3) la parcelle (2), non inoculée mais avec forte fumure azotée, présente un grand nombre de nodosités, dont vraisemblablement une grande proportion n' étaient pas fixatrices
- 4) en début de floraison, les 2 parcelles représentant le moins de nodosités sont celles avec inoculation (graine) sans fumure PK et sans inoculation avec fumure NPK.

Ces essais tendraient ainsi à indiquer que sur l'arachide, il est illusoire de vouloir introduire de nouvelles souches de Rhizobium sans apporter une fumure PK, les deux apports étant complémentaires.

3.1.3 Effets sur le poids sec des parties aériennes

TABLEAU 3 - Poids sec des parties aériennes en fonction des traitements

Parcelle	Traitements	Moyenne de poids	Significativité	Nombre d'observation
(2)	sans inoculation + NPK	655,900	A	40
(1)	sans inoculation + PK	464,433	B	30
(4)	inoculation (sol) + PK	418,500	C B	40
(3)	inoculation (graine) + PK	395,200	C B	40
(5)	inoculation (graine) sans fumure (témoin)	358,425	C	40

On remarque que la parcelle (2) avec engrais NPK donne les meilleurs résultats et que le témoin sans PK donne le poids le moins élevé.

3.2 Soja

3.2.1 Effets sur les rendements

TABLEAU 4 - Rendements du soja en fonction des traitements appliqués (kg/ha)

Parcelle	Traitements	Moyenne de rendement	Significativité	Nombre d'observation
(2)	sans inoculation + NPK	2.020,909	A	11
(3)	inoculation (graine) + PK	1.961,000	A	10
(4)	inoculation (sol) + PK	1.858,500	A	10
(5)	inoculation (graine) sans fumure témoin	1.680,000	A B	10
(1)	sans inoculation + PK	1.117,000	B	10

On constate des résultats analogues à ceux obtenus sur arachide. Plus précisément on observe :

- 1) qu'il n'existe pas de réponse du soja à la fumure PK
- 2) une excellente réponse à la fumure NPK (le meilleur rendement par rapport à la parcelle non inoculée)
- 3) une bonne réponse à l'inoculation, surtout en présence de la fumure PK
- 4) que l'inoculation du sol et l'enrobage des graines donnent des résultats sans différences significatives
- 5) économiquement, le meilleur traitement est l'inoculation associée à la fumure PK.

3.2.2 Effets sur les nodosités

TABLEAU 5 - Nombre de nodosités sur soja

Parcelle	Traitements	Moyenne du nombre de nodosités			
		Début de floraison ^{1/}	Significativité	30 jours après début de floraison ^{2/}	Significativité
{4}	inoculation (sol) + PK	24,5	A	62,9	A
{3}	inoculation (graine) + PK	23,3	A	45,6	B
{5}	inoculation (graine) sans fumure (témoin)	16,4	B	51,6	B
{2}	sans inoculation + NPK	2,8	C	3,3	C
{1}	sans inoculation + PK	2,5	C	3,7	C

^{1/} Moyenne de 100 observations

^{2/} Moyenne de 40 observations

On peut noter que :

- 1) les plantes non inoculées présentent très peu de nodosités même lors du deuxième comptage, indiquant que pour le soja l'inoculation est impérative
- 2) en début de saison (1er comptage) le nombre de nodosités est relativement faible
- 3) pour autant que la fumure PK soit assurée, le type d'inoculation importe peu
- 4) en début de cycle, l'activité de Rhizobium semble être due à la présence de la fumure PK.

3.2.3 Effets sur le poids sec des parties aériennes

TABLEAU 6 - Poids sec des parties aériennes du soja en fonction des traitements (kg) 1/

Parcelle	Traitements	Moyenne de poids	Significativité
(2)	sans inoculation + NPK	250,850	A
(5)	inoculation (graine) sans fumure (témoin)	178,550	B
(4)	inoculation (sol) + PK	141,925	B
(1)	sans inoculation + PK	141,800	B
(3)	inoculation (graine) + PK	133,450	B

1/ 40 observations

Il est curieux de noter l'importance des parties aériennes dans la parcelle témoin (5). Ceci confirme qu'il est difficile d'estimer les rendements en graine des légumineuses en se fondant sur le poids des parties aériennes de la plante.

4. CONCLUSION

Pour l'ensemble des deux cultures, on peut conclure -

- 1) que pour le rendement, le traitement sans inoculation associé à la fumure NPK semble être le meilleur;
- 2) que l'inoculation au Rhizobium, associée à la fumure PK, donne une bonne réponse;
- 3) qu'économiquement, le meilleur traitement est l'inoculation associée à la fumure PK;
- 4) qu'en général les sols pris en considération contiennent du Rhizobium pour arachide, mais que pour le soja l'introduction de souches spécifiques est impérative.

Le programme est sur le Rhizobium dans le cadre du Programme national engrais de la FAO, bien qu'il en soit encore à ses débuts, a ainsi donné des résultats indicatifs fort encourageants, permettant ainsi une certaine orientation.

L E S L E G U M I N E U S E S
en assolement ou en culture associée au Togo

par

M. DOSSOU

Avec la crise de l'énergie fossile, le prix des facteurs modernes de production agricole (engrais, pesticides) n'a cessé de grimper, alors que les prix des denrées agricoles ne suivent pas la même progression.

Des recherches ont donc été orientées vers l'utilisation de ressources locales : phosphates naturels localement produits, introduction des légumineuses alimentaires dans les rotations, restitution des résidus de récolte.. Ces démarches ont pour but d'obtenir une réduction importante de l'emploi des engrais minéraux importés.

On sait que dans les pays tempérés certaines légumineuses, particulièrement la luzerne, ont un effet amélioratif sur le rendement des céréales qui leur succèdent, grâce à l'existence dans le sol de bactéries qui ont le pouvoir de fixer l'azote atmosphérique. Au Togo, les agriculteurs reconnaissent qu'après une culture de haricot ou d'arachide le rendement d'une céréale (maïs, sorgho) est amélioré, mais le mécanisme de ce phénomène est peu connu.

A partir de 1970 des études ont été reprises en raison du prix sans cesse croissant des engrais minéraux importés. L'étude de la culture des légumineuses alimentaires, en association avec d'autres cultures ou en culture pure, a démarré en 1974 à partir des résultats d'un essai soustractif pérenne conduit à Dapaon, dans l'extrême nord du Togo, avec une rotation arachide/coton/sorgho. Cet essai a été mis en place depuis 1966.

Sur l'objet ayant reçu une fumure complète, on a observé régulièrement que les rendements sont dépressifs. On a en outre constaté une forte carence en phosphore dans les sols de cette région (sols ferrugineux tropicaux sur grès). Par ailleurs l'objet sans N est toujours supérieur à la fumure complète apportée sur coton succédant à l'arachide. En 1973 un essai simple a donné les résultats suivants :

- témoin sans engrais	1 789 kg/ha	de coton graine
- fumure sans azote	2 553 kg/ha	« «
- fumure complète avec complément d'azote	1 952 kg/ha	« «

Cet essai confirme l'effet dépressif sur le rendement en présence d'une fertilisation azotée après arachide comme précédent cultural. L'absorption de N est probablement limitée par le phosphore (loi du minimum de Liebig).

A partir de ces observations, des essais comparant des légumineuses alimentaires ont été montés sur deux points d'essais dans deux situations pédoclimatiques différentes : Asrama au sud, dans la zone à deux saisons de pluie, Elavagnon dans la zone à une seule saison de pluie. Dans ces essais, une culture de coton fait suite à une culture de niébé, voandzou, arachide ou soja, une culture de maïs servant de témoin. Les résultats moyens sur deux ans, en kg/ha, ont été les suivants :

Objet	Localité:	(kg/ha)	
		Asrama	Elavagnon
Maïs		1 085	1 318
Soja		1 137	1 290
Arachide		1 109	1 520
Niébé		1 280	1 544
Voandzou		1 214	1 488

L'effet de l'azote provenant des légumineuses sur le coton est sensible, mais il varie avec la légumineuse et la région.

Ces essais ont permis de proposer des rotations intégrant les légumineuses dans chaque région.

Les légumineuses tout en donnant leur production permettent d'enrichir le sol en azote. Ceci se traduit en pratique par une réduction assez importante de la nécessité d'une fertilisation azotée estimée à 50 Kg/ha environ. Au prix actuel des engrais azotés, l'économie que peuvent procurer les légumineuses alimentaires n'est pas négligeable: elle est équivalente à 110 kg d'urée.

PROGRAMME BIOGAZ - COMPOST

Par

M. SEREME

I. OBJECTIFS

La pénurie croissante de combustible à usage domestique, constituée pour l'essentiel par le bois de chauffe, a amené les populations rurales à, utiliser de plus en plus les résidus de récolte dans les zones à forte densité comme dans la région du Plateau Mossi.

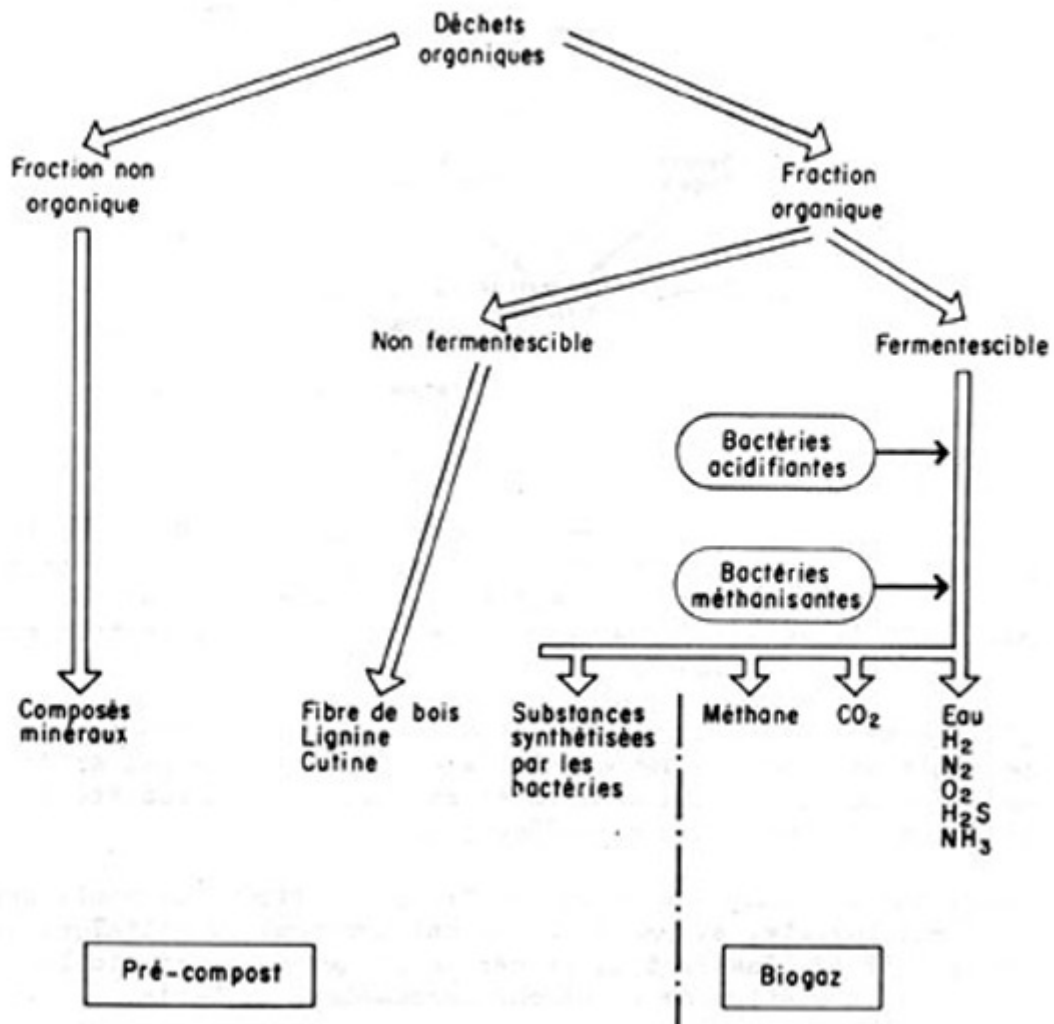
La nécessité de suppléer à cette carence d'énergie bon marché et d'améliorer la fertilité du sol, notamment par incorporation de matières organiques, fournit la justification du projet d'étude de la production de compost enrichi et d'énergie en milieu rural.

II. PRINCIPE

Les matières végétales cellulosiques sont dégradées partiellement par l'action naturelle de bactéries anaérobies en deux fractions facilement isolables (Figures 1 et 2) :

- a) un résidu complexe : pré-compost
- b) produit gazeux.

Figure 1 – Processus de dégradation de la matière organique dans un fermenteur



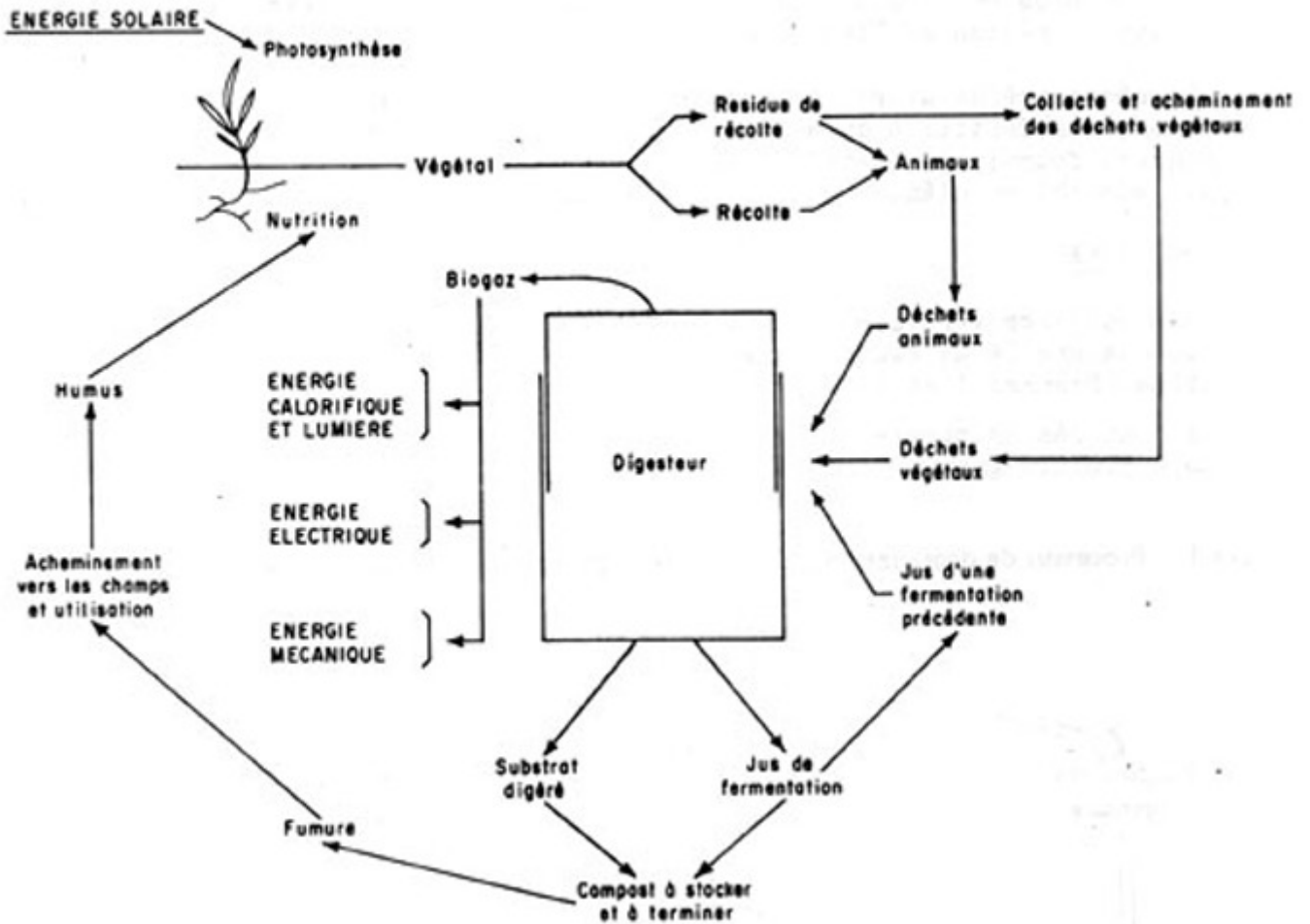
III. TRAVAUX REALISES

Les contraintes écologiques et socio-économiques de la Haute-Volta (zone soudano-sahélienne) sont différentes de celles des pays où il existe déjà une expérience intéressante en la matière : notamment dans les pays industrialisés (coût élevé des installations) et en Inde (utilisation sur base exclusive de bouses de vache).

Des expérimentations préliminaires étaient donc nécessaires pour déterminer s'il était possible de produire des quantités appréciables de gaz et de compost à partir de déchets cellulosiques existants. Il n'a pas été fait d'étude biochimique systématique de la décomposition.

Les travaux par le CIEH (Comité inter-africain d'études hydrauliques) avec un agro-climatologiste, et par la recherche agronomique voltaïque avec les chercheurs de l'IRAT (Institut de recherche en agronomie tropicale), ont démarré en 1976 sur la station de recherche agronomique de Saria.

Figure 2 – Bio-conversion de l'énergie solaire
Schéma de principe du procédé de fermentation discontinue



Le premier volet du programme a été limité :

- a) à la mise au point d'installations
- b) à l'étude agronomique.

Les premiers résultats montrent le grand intérêt de cette technique.

Des études plus poussées faisant intervenir une organisation de la production de substrats fermentescibles, ou même une intégration complète de la fermentation dans le processus de production agricole, devront être réservées à une étape ultérieure.

Les installations doivent tenir compte des conditions locales :

- . climat tropical sec
- . substrat à dominance solide (paille, feuilles...)
- . faible possibilité d'autofinancement des utilisateurs
- . technologie rudimentaire

A) Mise au point des installations

1) Buts : installations adéquates et peu coûteuses.

Les expérimentations ont permis d'atteindre une production importante de gaz par kg de matière sèche fermentée. En 50 jours de fermentation on a obtenu 250 l de gaz par m³ (Tableau 1), soit une production de l'ordre de 500 l de gaz par m³ de cuverie.

Ces résultats ont été obtenus grâce ;

- à un broyage des pailles
- au recyclage des jus d'une fermentation à l'autre.

Deux types d'installations ont été expérimentées

a) installation expérimentale (Figure 3a)

4 cuves digestives de 4,5 m³ munies de couvercles fixes et d'un gazomètre d'un volume utile de 4 m³.

b) installation de démonstration (Figure 3b)

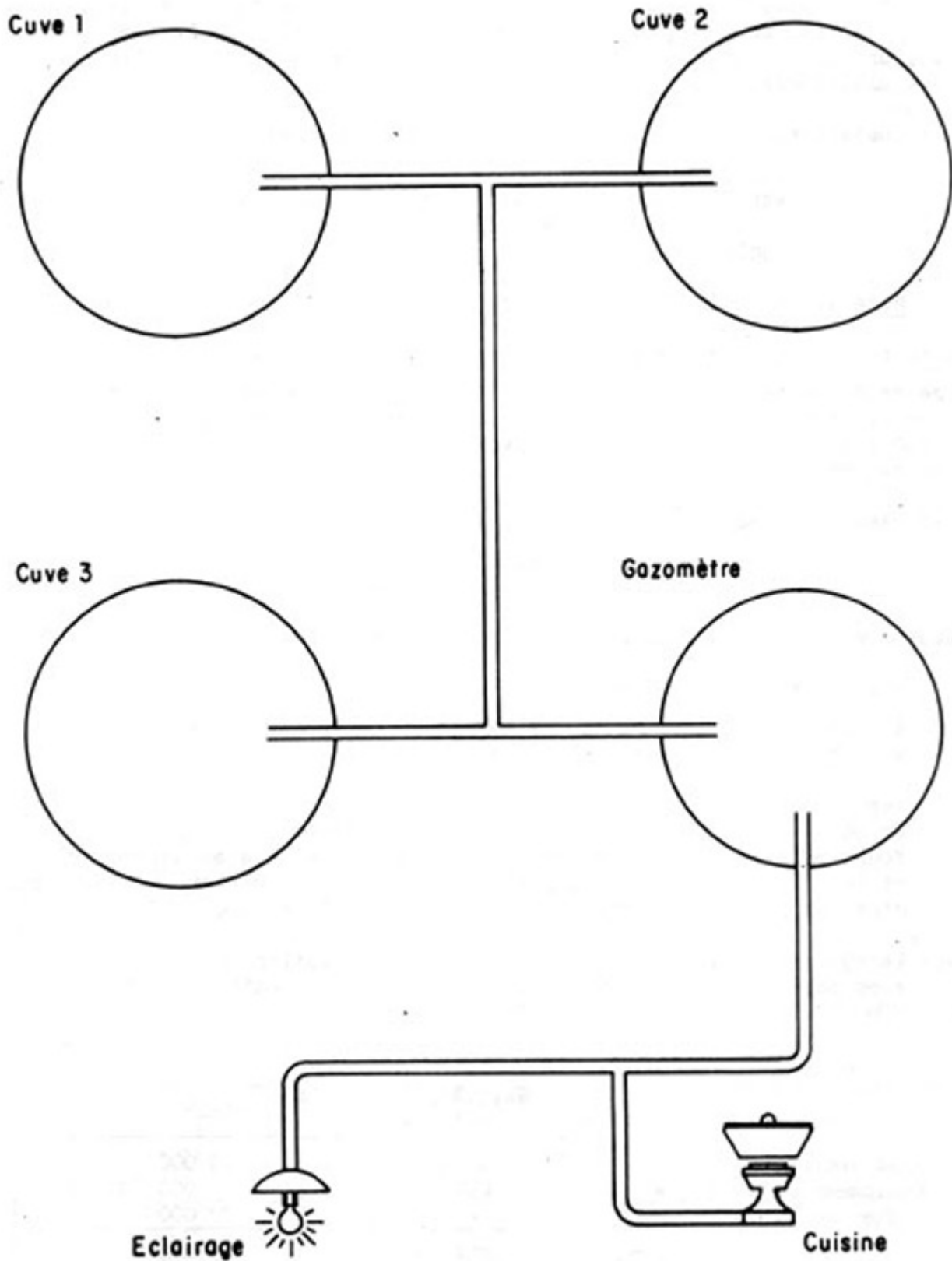
Le coût d'une installation type petite irrigation susceptible de fournir l'énergie nécessaire à l'irrigation de 1 ha en saison sèche et de 2 hectares en saison des pluies pourrait s'élever, compte tenu d'une capacité de stockage de gaz de 16 m³, à 640.000 F CFA.

Sur le même principe, on peut envisager la réalisation d'une installation domestique composée de 3 cuves de 3 m³ et d'un petit gazomètre de 4 m³ dont le coût sera de l'ordre de 270.000 F CFA.

Devis comparatif de deux types d'installations (F CFA)

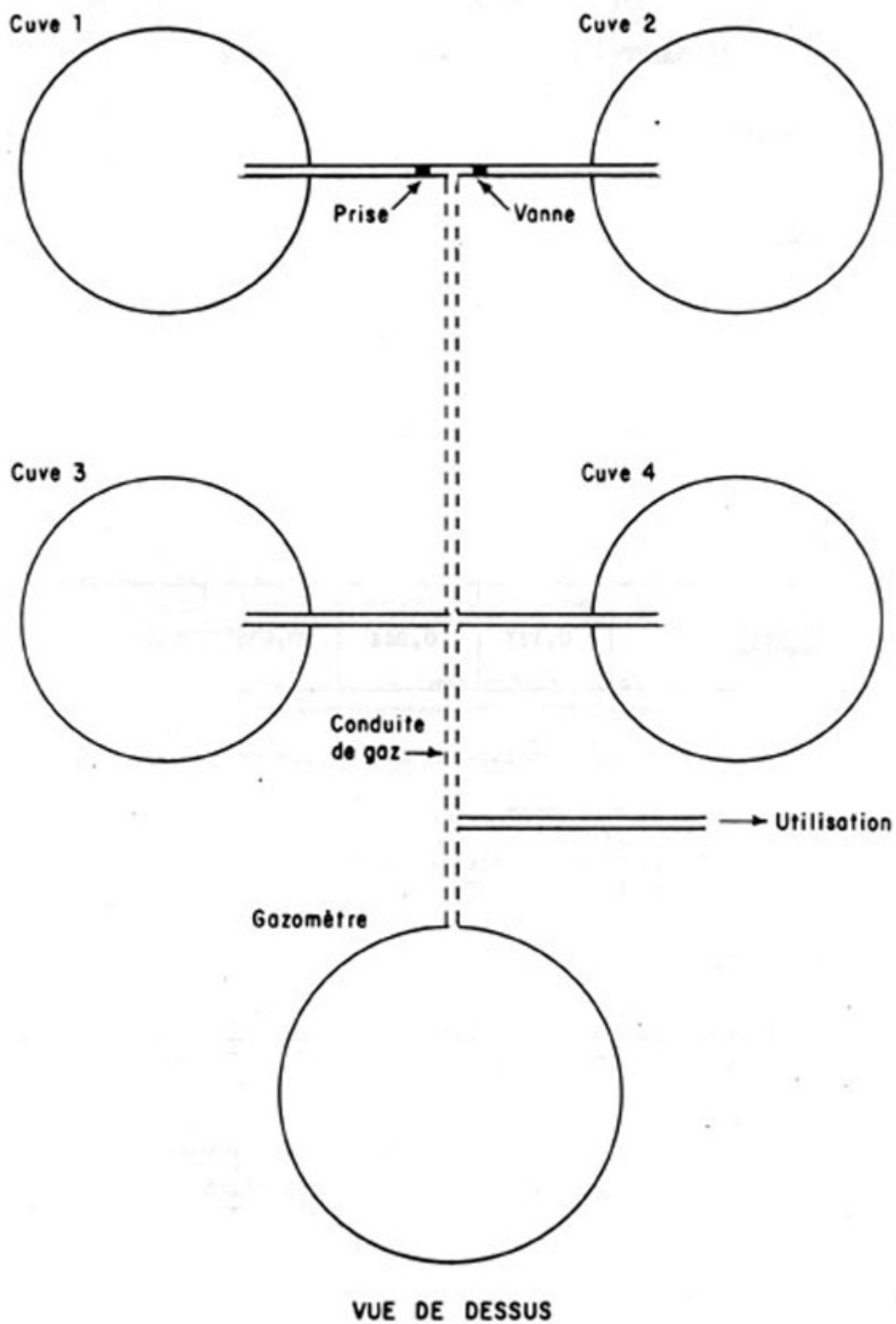
	Gazomètre métallique	Bâche
Gros oeuvre	40 000	10 000
Equipement métallique	130 000	20 000 (Bâti)
Bâche	-	70 000
Total	170 000	100 000
Volume de gaz stocké (m ³)	4	6
coût du m ³ de gaz stocké	42 500	16 700

Figure 3a – Plan général de l'installation



VUE DE DESSUS

Figure 3b – Plan général de l'installation



TABEAU 1

RESULTATS D'EXPERIMENTATION

SUBSTRAT UTILISE : paille de sorgho en brins de 30 cm de longueur
(75 kg MS/m³ de cuverie) + déchets animaux soumis
à 8 jours de pré-fermentation (25 kg MS/m³ de cuverie)

PRODUCTION MOYENNE JOURNALIERE : (m³ de gaz/m³ de cuverie)

Jours de production :	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20	21 - 25
Production	0,120	0,234	0,315	0,308	0,233
Jours de production :	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50
Production	0,208	0,204	0,196	0,216	0,197

INDICE DE PRODUCTION CUMULEE (m³ de gaz/jour/m³ de cuverie)

Jours de production	10	20	30	40	50
Indice de production cumulée	0,177	0,244	0,236	0,227	0,223

Equivalence énergétique de la production d'une cuve de 4 m³ en 50 jours :

28 litres d'essence
25 litres de fuel
62,5 kwh d'énergie électrique utilisable
250 kg de bois de chauffe

2) Poursuite du programme

Pour la petite irrigation, la poursuite de l'expérimentation consistera au stockage du gaz sans bâche à la pression atmosphérique, ce qui permettrait de réduire d'au moins une trentaine de mille francs CFA le coût des installations.

B) Etude agronomique

1) But : Détermination de la valeur agronomique des composts

- détermination des doses
- diminution des besoins en engrais minéraux
- Bilan de la transformation anaérobie des résidus végétaux :
contrôle de l'évolution de la valeur agronomique de la matière végétale
 - au cours de la digestion anaérobie
 - au cours du stockage
 -

Trois techniques de finition sont testées :

- finition «en cordons»
- finition «en fosse fumière»
- épandage direct sur le sol

Les résultats de ces essais ne sont pas encore disponibles.

2) Poursuite du programme

Essai en milieu contrôlé

CONCLUSIONS

Une première phase des expériences a permis donc :

- de réaliser une première évaluation des quantités de gaz que les principaux résidus de récolte sont à même de fournir au cours d'une fermentation;
- de concevoir des installations opérationnelles capables de répondre aux besoins en énergie domestique dans la mécanisation du monde rural.

Une deuxième phase en exécution a pour objectifs :

- contrôle de l'opération de la cuverie en vue de permettre une augmentation de la production journalière du gaz;
 - mise au point et réalisation de deux types d'installations en vue d'une opération de démonstration de la technologie biogaz/compost en milieu rural
 - . installation individuelle de production d'énergie domestique (2,5 m³ de gaz par jour)
 - . installation collective de production d'énergie pour la mécanisation (6 m³ de gaz par jour)
 - détermination des possibilités de valorisation des produits de la fermentation biogaz/compost
- promotion de la filière biogaz/compost dans les Etats Membres du CIEH.

ANNEXE

TABLEAU 2

POTENTIALITES DE PRODUCTION DE DIVERS DECHETS VEGETAUX		
Déchets végétaux	Matières sèches (%)	Temps de demi-décomposition en conditions optimales (jours)
Paille de riz	26,0	20
Tiges de maïs	29,5	20
Tiges de sorgho	27,8	23
Poussières de minoterie	29,5	25
Fanes d'arachide	29,8	17

TABLEAU 3

NORMES D'UTILISATION DU GAZ BIOLOGIQUE	
<u>Pouvoir calorifique</u>	$1 \text{ m}^3 = 5\ 000 \text{ Kcal}$
<u>Cuisine</u>	1 m^3 est l'équivalent de 6 kg de bois de chauffe
<u>Manchons lumineux</u> sous 12 gr. de pression : 100 à 120 l/h	
<u>Réfrigération</u>	1,2 l/heure par litre de réfrigérateur
<u>Moteurs</u>	puissance fournie par 600 l/h : 0,8 CV

EMPLOI EFFICACE D'ENGRAIS ORGANIQUES ET MINERAUX
DANS LA PRODUCTION VEGETALE AU TOGO

par

M. Rabiou

L'économie nationale togolaise est essentiellement agricole. La production agricole fournit plus de 50% du produit national brut et plus de 50 à 60% des exportations; 85% de la population est rurale. Or, l'agriculture togolaise est caractérisée par des méthodes extensives de production aux rendements très bas. De plus, l'accroissement démographique rapide du pays et la crise énergétique mondiale actuelle impliquent la nécessité de rechercher des voies et moyens d'intensifier son agriculture.

Il devient évident que l'emploi efficace d'engrais, tant minéraux qu'organiques, est une des conditions essentielles de la réussite de la révolution verte au Togo.

L'utilisation d'engrais organiques sous forme de fumier y est pourtant négligeable, car se posent un certain nombre de problèmes sociaux et économiques :

- 1) Il n'existe pas de liaisons entre production animale et production végétale. L'élevage étant pratiqué par les peulhs, le paysan cultivateur pense qu'il se convertirait en peulh s'il se mettait à conduire un troupeau.
- 2) L'agriculture togolaise est une mer de petites exploitations, la superficie de plus de 90% des exploitations étant de moins de 0,5 ha.
- 3) Un élevage trop traditionnel et peu développé n'offre que de faibles potentialités.
- 4) Les difficultés de collecte, de transport, d'épandage et d'enfouissement du fumier sont très graves.

En pays Kabyé et Koba, l'apport d'engrais organique sous forme de fumier, d'ordures ménagères, de terre de parc, etc. se pratique uniquement sur les cultures situées autour des cases, selon une enquête agricole de la région de la Kasa en 1972/73. En revanche, le Gouvernement togolais, accordant une importance particulière aux engrais minéraux, accroit d'année en année les dépenses destinées à leur achat (tableau 1). Remarquons que les engrais commerciaux sont importés dans leur totalité malgré les gisements de phosphates d'Aného et la possibilité de fabriquer les engrais potassiques à partir de l'eau de mer. Les possibilités de mise en place de ces projets sont limitées par le coût de l'énergie. Néanmoins, les instituts de recherche ont recommandé l'utilisation des phosphates d'Aného à la dose de 400 Kg/ha en fumure de fond. Son application est amorcée dans la région des savanes, fortement carencée en P O.

Tableau 1: Consommation d'engrais au Togo

(tonnes)

Types d'engrais	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
azotés	-	-	75	213	248	273	349
phosphatés	100	250	121	172	229	156	203
potassiques	-	-	58	51	68	144	179
TOTAL	100	250	254	436	545	573	731

Selon les calculs de la FAO, les épandages d'engrais au Togo se situent à peu près dans l'ordre de 0,3 kg NPK par ha de surface cultivée. Ce chiffre s'établit à 6,0 kg pour les pays en voie de développement dans leur ensemble et à 1,1 kg pour les pays d'Afrique; à 30,5 kg pour les pays capitalistes et à 25,7 kg pour les pays socialistes.

Le Gouvernement togolais aide par des subventions les paysans à acquérir les engrais commerciaux. Jusqu'à maintenant, quelle que soit la nature de l'engrais ou son prix de revient, il est livré à 15 F. Par exemple, le prix de marché de l'engrais complexe 15 - 25 - 15 - 5 - 1,6 NPKSB est de 90 F; la subvention de l'Etat s'établit à 75 F.

De nombreuses études pluriannuelles effectuées par l'IRCT et l'IRAT sur le coton en rotation avec les cultures vivrières, ont montré que les engrais chimiques permettent d'accroître de 2 à 3 fois les rendements des cultures dans diverses régions pédo-climatiques et économiques, et ainsi d'augmenter le profit du paysan agriculteur. Les résultats de tests présentés au Tableau 2 le précisent très clairement. Ils indiquent, en kg /ha, les niveaux de production à la suite de fumures complètes (NPKS) de quelques essais soustractifs pérennes mis en place par l'IRCT sur ses différents points d'appui technique. Dans la rotation, seul le coton recevait la fumure minérale, les autres cultures étant testées en arrière-effets.

Tableau 2. Evolution et maintien de la fertilité des sols sous cultures en rotation

Lieu			Témoins	Fumure complète
<u>Dapaon: Fosse aux Lions</u>	1968	coton	551	1660
	1969	coton	617	1757
	1970	sorgho	908	1786
	1971	arachide	1044	1546
	1972	coton	786	2034
	1973	coton	515	1568
	1974	sorgho	404	1678
	1975	arachide	927	1652
<u>Kadjalla: Région Kara</u>	1966	coton	380	1274
	1967	coton	365	1793
	1968	sorgho	1071	1333
	1969	arachide	402	827
	1970	coton	390	1669
	1971	coton	357	1943
	1972	sorgho	671	647
	1973	arachide	1106	1454
	1974	coton	242	1582
	1975	sorgho	519	1080
1976	arachide	882	930	
<u>Asrama: (Est-Mono Notsé - Plateaux-Sud)</u>				
	<u>Premier Cycle: maïs grain</u>		<u>Deuxième Cycle: coton graine</u>	
	<u>Témoin</u>	<u>Fumure complète</u>	<u>Témoin</u>	<u>Fumure complète</u>
1972	-	-	1165	1937
1973	1088	1589	1192	1591
1974	1315	2526	732	1415
1975	1281	2374	900	1850
1976	992	2208	1604	2321
1977	927	1792	932	1738
<u>Kouve: (Maritime)</u>				
1968	1810	2057	1665	1695
1969	1481	1521	850	1337
1970	3156	3676	861	956
1971	1135	1292	1134	2388
1972	2459	3073	1062	1875
1973	1112	1346	1461	1699
1974	2250	3166	585	1142
1975	2128	2667	878	2375

Ces essais soustractifs par région ou point appellent un certain nombre d'observations:

- 1) A Dapaon, on a noté une très forte déficience en phosphore, une chute régulière des rendements au cours des années en l'absence de fumure, et le maintien des rendements à un niveau moyen, même avec fumure, uniquement sur le coton. Les arrières-effets de la fumure coton sur arachide et sorgho sont toujours nets et très importants.
- 2) Sur le coton, dès la première année une fumure N S P s'impose à Kadjalla. Au cours du temps les reprises en coton font apparaître que le sol n'assure plus une libération suffisante de P et de K. Sur sorgho la réponse à la fumure semble moins nette sauf en ce qui concerne l'azote.
- 3) A Asrama sur coton les déficiences NSPK sont nettes en l'absence de fumure, celles en P et K étant importantes. Sur le maïs les déficiences NSP sont nettes, tandis que la libération de la potasse du sol assure une nutrition acceptable en cet élément en l'absence de fumure potassique.
- 4) C'est le potassium qui s'est avéré facteur limitant de la production à Kouve, mais il est lié à la pluviométrie. La déficience K est moins marquée avec une bonne pluviométrie, mais très accentuée quand il y a un déficit.

Doses d'engrais recommandées selon les régions et la culture

Coton

Région Savanes et Kara

N - 46 unités fertilisantes
P - 40 « «
K - 21 « «
50 kg/ha de sulfate d'ammoniaque
100 kg/ha de phosphate d'ammoniaque
50 kg/ha de chlorure de potassium
2,5 kg/ha de boracine
50 kg/ha d'urée 50 jours après semis

Régions Centrale et des Plateaux

N - 53 unités fertilisantes
P - 50 unités fertilisantes
K - 30 unités fertilisantes
Au semis 50 kg/ha de sulfate d'ammoniaque
50 kg/ha de phosphate d'ammoniaque
50 kg/ha de chlorure de potassium
2,5 kg/ha de boracine
50 kg/ha d'urée 50 jours après semis

Région Maritime

N - 76 unités fertilisantes
P - 62 unités fertilisantes
K - 56 unités fertilisantes
Au semis 50 kg/ha de sulfate d'ammoniaque
100 kg/ha de triple superphosphate
100 kg/ha de chlorure de potassium
2,5 kg/ha de boracine
50 kg/ha d'urée 50 jours après semis

Fumure d'entretien actuellement vulgarisée

Kara et Savanes

400 kg/ha de phosphate naturelle du Togo en tête de rotation
Arachide: 100 kg/ha de sulfate de potasse avant labour (IRAT)
Coton: 200 kg/ha de 15-25-15-5-1,8
Sorgho: 100 kg/ha de 15-15-15+65 kg/ha d'urée (IRAT)

Régions des Plateaux et Centrale

Arachide: pas de fumure
Coton: 200 kg/ha de 15-25-15-5-1,8 (NPKSB) +
50 kg/ha d'urée 40 jours après la levée (IRCT)
Maïs: 100 kg/ha de 15-15-15 (NPK) + 65 kg/ha d'urée
à la floraison (IRAT)
Sorgho : 100 kg/ha de 15-15-15 + 65 kg/ha d'urée
à la floraison (IRAT)

Région Maritime

Maïs: 100 kg/ha d'un engrais complexe
N P K 8-18-27 + 50 kg/ha d'urée à la floraison
Coton : 100 kg/ha 8-18-27 + 50 kg/ha de chlorure de potassium
au démarrage (IRCT)

CONCLUSIONS

Le rôle des engrais organiques dans l'accroissement de la productivité des cultures est bien connu du cultivateur togolais, mais leur utilisation se heurte à de nombreux problèmes socio-économiques.

L'efficacité des engrais chimiques dans l'agriculture a été démontrée par les Instituts de recherches agronomiques.

Les engrais organiques augmenteraient l'efficacité des engrais minéraux et réduiraient notablement les dépenses engagées dans leur achat.

Il reste pourtant beaucoup d'efforts à fournir pour éduquer le paysan togolais à associer l'agriculture à l'élevage en maintenant deux ou trois boeufs sur son exploitation.

Les efforts de regroupement des paysans entrepris par le gouvernement en accordant des crédits aux mutuelles donnent des résultats encourageants. Ces efforts aboutiront à l'augmentation des surfaces des exploitations et à une meilleure utilisation des engrais.

BIBLIOGRAPHIE

- Berger M. Rapport annuel de la Section Agronomie (IRCT)
Anié - Mono, 1978.
- Dossou M. Utilisation d'engrais organiques et minéraux au Togo.
1977

UTILISATION DES RESIDUS ET RECYCLAGE DES ELEMENTS
NUTRITIFS DANS LES SYSTEMES DE CULTURE DES TROPIQUES
HUMIDES DE L'AFRIQUE DE L' OUEST

Par

G.F. Wilson et B.T. Kang

(traduction libre par K. Mulongoy)

Généralité

La productivité d'un système de culture dépend de l'interaction entre les facteurs intrinsèques des cultures, les facteurs extrinsèques de l'environnement, et de la façon dont ces facteurs sont modifiés par l'homme. Par la génétique et la sélection des plantes, l'homme manipule les facteurs intrinsèques et développe des espèces à rendement potentiellement élevé pour des environnements spécifiques. La manipulation des facteurs extrinsèques est pratiquement limitée au sol, support de la plante et source des éléments nutritifs. Ainsi, la productivité d'un système de culture reflète l'efficacité dans la restauration et le maintien de la fertilité du sol et dépend, de ce fait, de la capacité de recyclage des matières organiques durant la période de jachère.

Dans les régions tropicales de l'Afrique de l'Ouest, la durée de la jachère est généralement supérieure à 6 ans, pour une saison de culture relativement courte. La pression démographique et la demande alimentaire croissante, avec l'utilisation des terres pour des fins non agricoles comme l'urbanisation et l'industrialisation, ayant réduit la superficie cultivée et la durée de la jachère, une baisse de la productivité du sol et une carence alimentaire s'en sont suivies. C'est cette carence alimentaire qui a stimulé des recherches dont le but est de développer des techniques plus efficaces pour restaurer et maintenir les propriétés du sol.

Systèmes de culture

La région considérée est celle de l'Afrique de l'Ouest, où les précipitations dépassent l'évaporation pendant plus de six mois de l'année. Les systèmes de culture peuvent y être subdivisés ainsi: (a) système de jachère, y compris la culture itinérante et la jachère forestière; (b) agriculture permanente sur une petite échelle avec, comme exemple, les jardins «composés»; (c) agriculture permanente sur une large échelle, incluant la mécanisation et la composante arborée comme le cacaoyer, l'hévéa et la canne à sucre. Ni les systèmes mécanisés de grande envergure ni les systèmes dits modernes ne contribuent de façon significative à la production alimentaire de la région: ce sont des introductions expérimentales encore peu acceptées.

Systèmes de jachère

C'est un système de culture où une courte période de culture est suivie d'une longue phase de repos ou de jachère durant laquelle la productivité du sol est restaurée par la végétation naturelle (Ruthenberg, 1971; Nye et Greenland, 1960; Ahn, 1970). Bien que diverses durées aient été proposées pour la restauration de la productivité du champ en friche, très peu de travaux ont été conduits pour déterminer les durées exactes ou les changements qui ont lieu durant cette période.

La jachère forestière dépend de la végétation qui absorbe les éléments nutritifs du sol et de l'atmosphère et les emmagasine dans ses tissus pour les remettre au sol lors de la défoliation ou de la défriche (Nye et

Greenland, 1960). Les éléments nutritifs de la litière et dans le sol sous la litière (Tableau 1) devraient accroître la productivité s'ils pouvaient être maintenus dans leur totalité et être utilisés par les cultures suivantes. Cependant, lors de la défriche, de grandes quantités de ces éléments nutritifs sont perdus à cause du lessivage, des feux de brousse et de l'activité micro-biologique et chimique.

TABLEAU 1 - Éléments nutritifs accumulés dans la végétation et dans le sol en jachère typique tropicale (kg/ha)

Site	Durée de la jachère	Végétation					Sol (0 - 30 cm)				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Kade, Ghana	40 ans	1830	125	819	2524	346	4592	12	550	2576	370
Yangambi, Zaïre	18 ans	559	73	404			2500	19	358	100	53
Yangambi, Zaïre	5 ans	391	24	344	292		2500	19	358	100	53
Kumasi, Ghana	20 ans	572	39	409	523	213	6720	15	246	4704	504
Benin City, Nigéria	6 ans	310	27	174	230	147		25	314	2128	224

Source: Nye et Greenland, 1960

Les débris végétaux sont essentiellement les résidus de la jachère. Il semble qu'on pratique les feux de brousse pour se débarrasser d'obstacles physiques créés pour l'homme aussi bien que pour les plantes par les tissus végétaux. Bien qu'ils libèrent avantagement certains éléments et suppriment certaines mauvaises herbes (Kang et Fox, 1979; Ahn, 1970), les feux de brousse peuvent cependant faire baisser le rendement des cultures (Tableau 2).

TABLEAU 2 - Effet de l'utilisation des résidus agricoles sur le rendement en grains sur un Ultisol (Typic Paleudult). (kg/ha)

Traitement	Résidus brûlés	Résidus retenus
Sans engrais	1190	1740
N - P - K, Mg, Zn, chaux	3498	3405

Source: Okoro et Kang, non publié.

L'utilisation des résidus agricoles peut être bénéfique, mais ces résidus contiennent relativement moins d'éléments utiles que l'ensemble des résidus végétaux. Dans tous les systèmes de culture, une certaine perte d'éléments nutritifs a lieu lorsqu'on enlève les parties consommables intéressantes (Tableau 3), les quantités de tissus végétaux enlevée en même temps dépendant de la culture et de la technologie de la récolte. Avec l'igname, le manioc et les tubercules en général, très peu de débris supplémentaires sont habituellement enlevés. Pour le manioc cependant, les feuilles peuvent être cueillies pour la consommation humaine et animale, et les tiges séchées comme combustible.

TABLEAU 3 - Eléments nutritifs enlevés lors de la récolte des parties comestibles (kg/ha)

Culture	Rendement	N	P	K	Ca	Mg
Maïs (graines)	1 000	15	2,7	2,7	0,2	1,0
Riz (paddy)	1 000	12	3,2	3,5	0,8	1,4
Manioc	10 000	22	3,0	58,0	5,4	-
Igname	10 000	34	2,7	35,0	0,6	-
Banane	10 000	22	4,1	55,0	0,6	-

Source: D'après Nye et Greenland, 1960.

Dans la plupart des systèmes traditionnels, on enlève les épis, les chaumes, les gousses, les pelures, les rachis, etc; les tiges de sorgho peuvent être laissées comme support pour les plantes grimpantes comme l'igname ou être employées pour la construction d'abris temporaires ou comme bois de chauffe; dans les savanes, des quantités de résidus sont consommées par les troupeaux des nomades. Ces résidus ne sont donc pas directement remplacés ou retournés au champ; ils peuvent cependant enrichir les petits jardins derrière les cases.

La production permanente à petite échelle

Les jardins composés sont les exemples les plus fréquemment cités de l'utilisation efficiente des matières organiques en vue d'améliorer le sol dans l'agriculture traditionnelle ouest-africaine. Vu leur proximité des points de consommation, l'on s'y débarrasse du juste minimum des parties non comestibles, qui sont ensuite retournées au champ. Ces jardins bénéficient également des déchets de récoltes des champs éloignés mais consommés à la maison. Les parcelles composées des plantains ou bananes sont des exemples typiques de jardins de production continue grâce aux déchets domestiques (Mukasa, 1970; Wilson et Braide, non publié). Dans certaines localités, l'on ajoute même les excréments humains. Ces jardins constituent ainsi un système biologique très productif dans lequel sont recyclés les résidus de culture et les déchets ménagers. Cependant, il faudrait établir les quantités optimales de déchets organiques, afin de ne pas suralimenter de petites surfaces.

Les cultures maraîchères dans les centres urbains, généralement à proximité d'une source d'eau pour l'irrigation, présentent un système similaire de production permanente à petite échelle.

Les systèmes modernes

Dans ces systèmes de production mécanisée, à grande échelle, encore au stade expérimental dans la région, on utilise les engrais minéraux pour maintenir la fertilité du sol. Cependant, la préparation du champ et les pratiques culturales peuvent détruire la structure du sol, favoriser le ruissellement et des pertes considérables de sol par érosion, et créer ainsi des conditions physiques défavorables à la croissance des plantes (IITA, 1972 - 1974; Lal, 1976; Juo et Lal, 1977). Le contenu en éléments nutritifs du sol est affecté par la perte de matières organiques du sol ou d'humus (Tableau 4). En effet, puisque l'augmentation des matières organiques augmente normalement la disponibilité de l'azote (Jones et Wild, 1975), du phosphore, du soufre (Bromfield, 1972) et des micro-éléments tout en empêchant la fixation du phosphore (Bhat et Bayer, 1968), toute pratique qui conduit à la réduction de la matière organique du sol peut affecter adversément les performances d'une culture. Le problème de la production intensive d'aliments est ainsi lié au maintien de la matière organique à un taux convenable, par exemple en utilisant les résidus de culture.

TABLEAU 4 - Taux de matières organiques, ECEC et de cations échangeables dans la couche superficielle (0-15 cm) d'un sol de la série EGBEDA (OXIC paleustalf) après 3 ans de culture

Traitement	Matières organiques	ECEC (me/100g)	Cations échangeables (me/100g)		
			Ca	Mg	K
Jeunes pousses	1,44	4,94	3,34	0,98	0,42
"Guinea grass"	2,01	7,86	5,31	1,39	0,95
Leucaena	1,42	6,22	4,12	1,14	0,73
Soja + résidus	0,98	3,32	4,34	1,18	0,49
Maf's sans résidus	1,10	3,95	3,01	0,46	0,13
Maf's + résidus	1,58	6,38	4,58	0,92	0,68
LSD 0,05	0,25	1,03	0,77	0,31	0,21

Source: Compilé de Juo et Lal, 1977.

Les résidus de culture, le paillage et le type de labour

L'effet du paillis dans le contrôle de l'érosion (Tableau 5) est bien connu, mais les moyens d'en produire en quantités suffisantes et économiques sont encore à

l'étude. Cependant, la mise au point d'herbicides et de nouvelles méthodes de préparation du champ ont rendu possible le système sans labour ou de semis direct (Phillips et Young, 1973). Cette technique, bien développée dans certaines régions tempérées, a donné de bons résultats dans les essais de l'IITA. Il a été observé que le semis direct entraîne après quatre années de culture de meilleurs rendements que le labour traditionnel. Bien que la pratique nécessite des quantités d'engrais minéraux, elle permet un meilleur contrôle de l'érosion. Les données actuelles démontrent les avantages de la technique pour la production de cultures à graines. Les travaux sur les espèces utilisées comme couverture vivante (Wilson, 1978; IITA, 1974 à 1978; Lal et al., 1978; Kannegieter, 1969, 1976) indiquent que l'effet du semis direct est encore amélioré par l'effet du paillis de cette végétation de couverture.

**TABLEAU 5 - Effet du paillis sur la perte de sol
(Pluviométrie totale: 64 mm)**

Quantité de paillis	P E R T E (%)				
	1	5	10	15	Moyenne
0	0,48	12,19	27,06	12,25	13,00
2	0,01	3,49	0,82	0,64	1,24
4	0,00	0,67	0,11	0,31	0,27
6	0,00	0,16	0,03	0,08	0,07

Source: Lal, 1975.

Rationalisation de la jachère forestière: la culture en couloirs

Bien que la jachère forestière a constitué la pierre angulaire de la production alimentaire dans les tropiques humides, on a peu fait pour l'améliorer. Les paysans ont longtemps reconnu que certaines espèces de plantes restaurent la productivité du sol plus rapidement que d'autres, et ils ont essayé de les favoriser dans la jachère. Les espèces les plus rencontrées en Afrique sont *Acacia*, *Anthonata* sp. et *Gliricidia sepium*; en Asie l'on a souvent utilisé *Leucaena leucocephala* et *Sesbania grandiflora*. Guevarra (1976) a montré que les feuilles de *Leucaena leucocephala* pouvaient être utilisées comme source d'azote pour le maïs planté entre les rangées de *Leucaena*; Wilson et Kang (1980) ont également obtenu des résultats prometteurs avec *Leucaena*.

D'autres espèces présentant des potentialités dans la culture en couloir sont *Tephrosia candila*, *Cajanus cajan* et *Gliricidia sepium* (Tableaux 6 et 7).

TABEAU 6 - Rendement en azote des parties aériennes de *Leucaena leucocephala* en culture en couloirs avec le maïs sur un sol de la série Apomu (Psammentic usthorthent)

Rendement en azote (kg N/ha)	Coupes	Taux d'azote (kg N/ha)*			
		0	60	120	180
Première saison	3	95,7	107,7	125,9	153,8
Deuxième saison **	2	111,2	89,6	93,2	104,1
Total		206,9	197,3	219,1	257,9

* Azote appliqué à une culture associée de maïs

** Première coupe: avril-juin; deuxième coupe: septembre-octobre.
Leucaena a été taillé à la hauteur de \pm 150 cm.

TABEAU 7 - Rendement en azote des parties aériennes de quelques légumineuses

Légumineuse	Poids sec	Rendement des feuilles	
		% N	kg N/ha
"Pigeon pea"	4 100	3,6	151
Tephrosia	3 067	3,8	118
Gliricidia	2 300	3,7	84

En début de saison de culture, les feuilles et jeunes tiges des légumineuses sont taillées et étalées sur le sol comme paillis et source d'azote. A la fin de la saison, les espèces de la jachère dominant. Comme leurs racines sont déjà développées, ces espèces prennent vite et empêchent la prolifération de mauvaises herbes, créant un environnement idéal aux micro-organismes du sol intéressants et au recyclage des éléments nutritifs.

La culture en couloirs est donc l'image de la jachère forestière et peut être considérée comme jachère forestière organisée, dans laquelle des espèces plus efficaces sont disposées selon un ordre défini, et les éléments nutritifs recyclés plus efficacement. Il en résulte une réduction de la période de jachère.

La culture en couloirs est une nouvelle méthode; elle doit donc être approfondie avant d'être recommandée aux paysans. L'emploi de légumineuses comme espèces de la jachère pourrait même réduire la dépendance des engrais minéraux, en particulier des engrais azotés, très coûteux et difficiles à obtenir dans la plupart des pays africains.

Conclusion

La contribution des résidus de culture à la productivité du sol dans la région humide de l'Afrique de l'Ouest a été peu étudiée. Le semis direct ou méthode dans labour peut constituer la base d'une agriculture mécanisée à grande échelle dans les tropiques.

La culture en couloirs, version améliorée de la jachère forestière, peut permettre simultanément une culture et le développement d'espèces de jachère. L'utilisation d'espèces plus efficaces dans la jachère peut entraîner une réduction de la période de jachère et augmenter la productivité du sol, tout en réduisant les besoins en engrais.

BIBLIOGRAPHIE

- Ahn, P.N., 1970. West African soils Oxford University Press, London.
- Bhat, K.K.S, et S. Bayer, 1968. Influence de la nature organique sur le phosphore isotopiquement diluable dans quelques types de sols tropicaux. In Isotopes and ration in soil organic matter studies. IAEA, Vienna, 229-313.
- Bromfield, A.R., 1972. Sulphur in northern Nigerian soils.I: The effect of cultivation and fertilizers on total S and sulphate pattern in soil profiles. J.Agric. Sci., Cam ., 78: 415-470
- Guevarra, A.B., 1976. Management of *Leucaena leucocephala* (Lomb.) de Wit for maximum yeld and nitrogen contribution to intercropped maize. Ph. D. Thesis. University of Hawaii .
- IITA, 1978. Annual Report. Intl. Inst. Trop. Agric., Ibadan, Nigéria.
- IITA, 1977. Annual Report. Intl. Inst. Trop. Agric., Ibadan, Nigéria.
- IITA, 1976. Annual Report. Intl. Inst. Trop. Agric., Ibadan, Nigéria.
- IITA, 1975. Annual Report. Intl. Inst. Trop. Agric., Ibadan, Nigéria.
- IITA, 1974. Annual Report. Intl. Inst. Trop. Agric., Ibadan, Nigéria.
- IITA, 1972. Annual Report. Intl. Inst. Trop. Agric., Ibadan, Nigéria.
- Jones, M.J. et A. Wild, 1975, Soils of West African savannah. Tech. Com. 55.CAB, Farnham Royal, UK.
- Juo, A.S.R. et R. Lal, 1977. The effect of fallow and continuous cultivation on the chemical and physical properties of an Alfisol, Western Nigeria. Plant and Soil 47: 567-584.
- Kannegieter, A.,1969. The combination of term *Pueraria* fallow zero cultivation and fertilizer application. The effects on the following maize crop. Trop. Agriculturist 25: 77-89.
- Kannegieter, A., 1967. Zero cultivation and other methods of reclaiming *Pueraria* fallowed land for food crop cultivation in the forest zone of Ghana. Trop. Agriculturist 23:.
- Lal, R., 1976. Role of mulching techniques in tropical soil and water management. IITA, Teo . Bull. No.1. IITA, Ibadan Nigeria.
- Lal, et al., 1978. No-tillage farming after various grasses and leguminous cover crops on tropical Alfisol l. Crop Res. 1:71-78.
- Mukasa, S.K.,1970. Staple food crops II: Bananas. In Agriculture in Uganda (J,D. Jameson, ed.) pp. 139-143.
- Nye, P.H. et D.J. Greenland, 1960. The soil under shifting cultivation. Tech, Commun. No. 51. Commonwealth bureau of soils. CAB, Bucks, England.
- Phillips, S.H. et Young, B.H. Jr. , 1973. No-tillage farming. Reiman Associates, Milwaukee, USA.
- Ruthenberg, H., 1971. Farming systems in the tropics. Oxford Univ. Press, London.

- Velly, J. et C, Longueval, 1977, Evolution d'un sol ferralitique sur gneiss de Madagascar sous l'influence d'apports annuels de paille et d'azote. Soil Organic Matter Studies 69-81;
- Wilson, G.F. et B.T. Kang, 1980. Developing stable and productive biological cropping systems for the humid tropics. Presented at the Intl. Con. on Biol. Agric. Wye College, Ashford, Kent, England. Aug. 26-30, 1980.
- Wilson, G.F., 1978. Fallow crops and food cropping systems in the tropics. Third General Meeting AAASA. Ibadan, Nigeria, April 9-15, 1978.

L' ENTRETIEN HUMIQUE DES SOLS TROPICAUX

(Résumé de cours)

Par

J. POULAIN

La matière organique se trouve dans le sol sous différentes formes :

- des êtres vivants (macro- ou micro-organismes, végétaux ou animaux)
- de la matière organique morte à différents stades d'évolution
- des substances organiques, produit de l'activité des êtres vivants (excrétats, racinaires).

1. LES DIFFERENTS ETATS DE LA MATIERE ORGANIQUE VEGETALE ENFOUIE; LEUR EVOLUTION VERS L'HUMUS

- matière organique libre
- produits transitoires
- matière organique liée

Les matières végétales enfouies dans le sol et les racines des plantes cultivées vont, sous l'action de micro-organismes, fermenter en libérant des produits organiques transitoires, des éléments minéraux, du CO₂ (minéralisation); l'ensemble de ces processus aboutit à un résidu stable, riche en azote, que l'on appelle l'humus. Lui-même évolue lentement pour aussi se minéraliser

A souligner :

- La minéralisation de la matière organique, donc la libération de l'azote, comme la réorganisation par les micro-organismes, sont des phénomènes qui consomment de l'énergie, donc du carbone. Un accroissement de leur activité entraîne une consommation supérieure. Plus un sol est cultivé, plus il s'appauvrit en matière organique, donc le rapport C/N diminue.
- Inversement, pour transformer les matières organiques pauvres en azote, les micro-organismes utilisent l'azote minéral du milieu au lieu d'en fournir. Concurrence, mais moyen de soustraire l'azote au lessivage par le phénomène de réorganisation.
- L'activité des micro-organismes est liée entre autres à la température. Il en résulte que les possibilités d'accumuler de la matière organique dans les sols sont faibles, voire très faibles, en milieu tropical.

2. LE BILAN DE LA MATIERE ORGANIQUE

Il est nécessaire d'avoir une idée chiffrée de l'évolution de la matière organique pour contrôler son système d'entretien de la fertilité du milieu.

L'humus étant l'élément le plus stable, c'est par rapport à lui que se fait le bilan, en comparant gains et pertes.

Il faut, pour effectuer le bilan :

- définir les limites du système. (Quelles couches de terre, quelles parcelles, exploitation en entier ...)
- ne pas se préoccuper de ce qui se passe à l'intérieur du système;
- définir une échelle de temps en accord avec les limites retenues pour le système (rotation culturale moyenne).

2.1 Les gains

Tous les apports de matière organique (enfouissement, développement du système racinaire).

Signalons qu'un moyen très efficace pour améliorer les teneurs en humus d'un sol est d'accroître les rendements des cultures par l'emploi de meilleures techniques culturales : travail du sol, engrais minéraux.

Coefficient isohumique : % humus par rapport à la quantité de matière sèche apportée :

pailles	10 %
racines	15 %
fumier	20 à 40 %
engrais vert, jaune voisin	de 0 %

2.2 Les pertes

L'humus se détruit suivant un coefficient variable, suivant les sols :

sol sableux	2 %
sol argileux	1 %

Le calcium ralentit l'évolution de l'humus.

Il s'agit d'ordres de grandeur (précision illusoire par rapport aux nombreuses sources d'incertitude dans les estimations).

2.3 Bilan et taux de la matière organique du sol

On peut déterminer une valeur d'équilibre engendrée pour les apports annuels de matière organique et qui traduit le système de culture (nature des cultures, volumes de restitutions organiques). Cette valeur est très utile à déterminer pour être comparée à la quantité effective révélée par l'analyse et pour raisonner ainsi l'évolution probable de l'état humique dans le sol sous l'action du système de culture.

La valeur de la matière organique du sol dépend du système de culture et du milieu. Il n'y a pas de référence absolue.

3. ELEMENTS POUR UNE POLITIQUE DE LA MATIERE ORGANIQUE

L'approche du problème est trop complexe, et on cherche seulement à fixer des teneurs seuils en deçà desquelles on pourrait juger que la situation devient grave. Plutôt que de la fixer avec précision, il est préférable de dresser une liste de questions à se poser pour aborder les différentes situations, et de fournir des éléments de réponse pour orienter les décisions.

3.1 Situation actuelle

- teneur en humus des sols sur la profondeur travaillée ?
- propriétés physiques défavorables ?
 - infiltration - ressuyage
 - battance
 - difficulté de travail
 - compacité - reprise en masse
- comment évoluent les apports de matière organique ?
- présence de gley ? conditions ?

- comment se font les restitutions ?
- broyage - mélange - qualité de labour - date d'enfouissement ?
- traitement des cultures - fertilisations - surpâturage, fauche ?
- situation des racines dans le profil.

Bilan de l'humus : - appauvrissement
 - état stationnaire
 - èpuisement

3.2 Actions à entreprendre

3.2.1 Bilan positif

Propriétés physiques favorables : diminution possible des apports
 si frais importants

Propriétés physiques défavorables : vérifier que tout est fait en vue
 d'assurer une évolution favorable de
 la matière organique.

3.2.2 Bilan équilibré

Propriétés physiques favorables : Statu quo

Propriétés physiques défavorables :

- favoriser une évolution convenable des restitutions
 (broyage des pailles, enfouissement) drainage ?
- augmenter la fertilisation (voir bilan minéral)
- engrais vert - effet passager intéressant
- conserver la faune du sol (produits)
- reconsidérer la rotation

3.2.3 Bilan négatif

Propriétés physiques favorables : suivre de près l'évolution des terres -
 surveiller la fertilisation azotée.

Propriétés physiques défavorables:

- introduire des jachères fourragères (3 ans)
- travailler les techniques d'enfouissement - pas de labour profond
- améliorer les techniques culturales des autres plantes ;
 apport de fumier bien fait et correctement enfoui.

A N N E X E

I. MATIERES VEGETALES ENFOUIES + MICRO-ORGANISMES RACINES DES PLANTES CULTIVEES

- matière organique libre, non liée aux grains de terre
- rapport C/N élevé - 15-16 (résidus de légumineuses), plus de 40 pour les pailles
- durée de vie liée aux conditions du milieu

	Rôles	Conditions
Mulch	<ul style="list-style-type: none">- conserve l'humidité- favorise la levée des adventives et le début des fermentations- diminue la battance et l'érosion	<ul style="list-style-type: none">-paille répartie sur toute la surface-engrais vert bien implanté
Drainage	<ul style="list-style-type: none">- favorise l'infiltration de l'eau	<ul style="list-style-type: none">- lits de paille dressés entre bandes de labour
Structure	<ul style="list-style-type: none">- favorise la division du sol sous l'action des racines fasciculées (graminées)- retarde la prise en masse	<ul style="list-style-type: none">- bonne implantation de la jachère fourragère ou de l'engrais vert; pas de surpâturage ni de piétinement du sol en période humide- trongonnage, broyage de la paille et mélange intime au sol
Travail du sol	<ul style="list-style-type: none">- terre plus facile à travailler	<ul style="list-style-type: none">- mélange intime de la matière organique enfouie, ou des racines, au sol
Faune	<ul style="list-style-type: none">- accroissement de l'activité des vers de terre	<ul style="list-style-type: none">- idem -

ACCIDENTS

- obstacles aux racines très fréquents
- paille enfouie en bouchon au labour, non repris au moment des façons superficielles
- risque d'échaudage physiologique

- . Les matières organiques libres ont des rôles considérables qui sont beaucoup trop négligés ; leur nature et la façon dont elles sont traitées conditionnent leur évolution ultérieure.
- . On augmente leur qualité en améliorant les techniques culturales, fertilisation, choix des variétés adaptées, bonne exploitation des fourrages,

II. FERMENTATIONS ET PRODUITS TRANSITOIRES

- Groupe de substances liées aux grains de terre qui les enrobent comme une teinture
- Durée de vie très courte.

Rôles	Conditions
Stabilité structurale : Forte mais très courte augmentation	<ul style="list-style-type: none">- matière organique fermentescible (engrais vert, paille) en quantité suffisante- matière organique bien mélangée au sol (broyée dans le cas des pailles)

ACCIDENTS

- Blocage d'azote :
azote minéral bloqué sous forme organique peut provoquer une faim d'azote sur une culture. Apport d'azote à l'enfouissement des pailles pendant les premières années
- Gley :
l'oxygène du milieu ne se renouvelle pas assez vite. Les fermentations deviennent anaérobies. Il y a asphyxie des racines
 - se produit chaque fois qu'une matière fermentescible (paille en engrais vert) est enfouie en grande quantité, trop profondément ou en sol trop humide et trop tassé en surface
 - très fréquent sur enfouissement de paille et d'engrais vert
 - fréquent sur retournement de jachères fourragères.
- . Ce sont les racines des graminées et les engrais verts qui donnent, bien enfouies, la plus forte amélioration de stabilité structurale due aux produits transitoires, puis viennent les pailles et enfin le fumier; cette amélioration est fugace.
- . Les graminées fourragères provoquent une amélioration de stabilité structurale si elles restent en place pendant au moins trois ans et cela d'autant plus que la culture est mieux exploitée et fumée.
- . Les produits transitoires sont libérés dans les semaines qui suivent le départ des fermentations.

III. HUMUS

- groupe de substances liées aux grains de terre, les enrobant comme une teinture
- rapport C/N bas, voisin de 10
- durée de vie longue, substances résistantes à l'action des micro-organismes du sol

Rôles	Conditions
Capacité pour l'eau : augmente	Augmentation de quelques millimètres pour une variation de 1% du taux.
Stabilité structurale : faible mais très durable augmentation	nécessité de quantités d'humus d'autant plus importantes que le sol est plus argileux

IL N'Y A PAS D'ACCIDENTS

- . Le fumier bien fait et les graminées fourragères donnent le plus d'humus, puis viennent les pailles. Les engrais verts ne donnent pas d'humus.
- . Il est très difficile de remonter un stock d'humus : il faut le conserver à un niveau favorable.

FERTILISATION DES CULTURES EN ROTATION

(Résumé de cours)

par

J. Poulain

GENERALITES

La fertilisation est l'opération culturale qui consiste à apporter une fumure. La fertilisation d'une culture prise isolément dans une succession n'est le plus souvent qu'une approche, car il importe de connaître dans quelle mesure celle-ci doit dépendre du ou des précédents culturels et éventuellement des cultures suivantes. Par précédent culturel, nous entendons non seulement la nature de la culture, mais aussi les traitements dont elle a fait l'objet, notamment ceux qui l'ont suivie : exportation, brûlis ou enfouissement des résidus de culture. C'est donc l'équilibre du bilan de chaque élément nutritif correspondant à l'ensemble des cultures d'une succession qui est à considérer, plutôt que celui relatif à chaque culture.

La restitution anticipée des exportations prévisibles de chaque culture annuelle selon les espérances de rendement, souvent adoptée comme règle, n'est donc pas à recommander d'une façon générale en grande culture. Cependant, cette règle n'en conserve pas moins un large domaine de validité, bien que son application pratique ne soit pas toujours très simple.

La quantité d'éléments minéraux à apporter à une culture dépend en fait de nombreux facteurs dont la plupart sont souvent mal contrôlés. Elle dépend en effet :

- des exigences de la plante (matière sèche photosynthétisable pour une situation déterminée). Celles-ci varient non seulement selon la nature de la plante et de la variété mais aussi en fonction de l'importance de la récolte;
- des quantités d'éléments fournies par le sol qui sont sous la dépendance du volume de terre prospectée par les racines (profondeur, texture et structure, façons culturales) et de la composition chimique du sol. C'est surtout ce dernier facteur qui est pris en considération pour fixer les formules de fumure;
- des fuites du réservoir, entraînement des éléments par les eaux de drainage et de ruissellement et phénomènes d'insolubilisation et de rétrogradation.

Cette rapide énumération montre que les quantités d'éléments fertilisants à apporter à une culture sont à calculer en tenant compte de facteurs qu'il est difficile de déterminer avec une grande précision. A cela, il faut ajouter un autre facteur d'imprécision, dû à l'hétérogénéité de l'épandage (manuel ou mécanique). On comprend donc que la recherche d'une précision mathématique dans le calcul des fumures est une illusion et que la détermination des équilibres à quelques unités près n'a aucune signification.

2. RAISONNEMENT DE LA FERTILISATION

L'agronome s'appuie sur deux outils complémentaires pour raisonner la fertilisation.

2.1 Le bilan minéral

Gains: apports dus aux résidus de culture
 apports dus aux amendements organiques
 apports par les pluies

Pertes: prélèvement par la plante
 variation du stock assimilable
 variation du stock non assimilable (fixation ou libération)
 lessivage
 pertes par érosion et ruissellement
 pertes dans l'atmosphère

(Si l'on avait pris en considération les exportations réelles de la culture, il aurait fallu alors supprimer les apports des résidus de récolte).

$$\text{PERTES} \quad - \quad \text{GAINS} \quad = \quad \text{FUMURE}$$

2.2 La courbe d'absorption maximale des éléments minéraux par les plantes

Elle dépend essentiellement de la richesse du sol et définit les besoins instantanés de chaque culture.

2.3 Déterminations

On utilisera pour faire ce raisonnement les déterminations suivantes:

- analyses des plantes à différents âges (parties exposées et résidus)
- analyses d'amendements organiques
- analyses des sols
- analyses d'eau de drainage, de ruissellement
- analyses des pluies

2.4 Limites de la méthode

Cependant, plus la dynamique dans le sol d'un élément minéral donné est complexe plus les déterminations le sont également. C'est en particulier le cas de l'azot et dont le cycle met en cause l'activité des micro-organismes du sol, et dont la fourniture par le sol est variable non seulement au cours de l'année mais aussi selon les années.

Par contre, pour des éléments de dynamique plus simple (P et K) on recherchera un enrichissement moyen suffisant pour couvrir les besoins de la plante lorsqu'ils sont au niveau maximum.

On définira alors deux types de fumure:

- la fumure d'entretien

compensation des pertes d'un sol à l'équilibre

- la fumure de redressement

correction de l'état chimique du sol.

Pour l'azote, l'application de la méthode des bilans n'est pas encore au point, même si des progrès substantiels ont été enregistrés depuis plusieurs années. On utilise donc encore les optimums moyens déterminés régionalement. On détermine ainsi, d'après la nature de sol et la succession de cultures (effets des résidus culturaux), et par le moyen d'essais, la dose qui en moyenne autoriserait le meilleur rendement. On élabore des courbes de réponse et on étudie la distribution des valeurs optimales. La valeur modale sera celle que l'on recommande. Cette dose appliquée donne un rendement sur lequel on ne peut rien dire; en particulier, cette année-là pouvait-on faire mieux? sur quelle courbe se trouve-t-on?

Pour le phosphore et le potassium, on peut parfaitement appliquer la méthode des bilans. Les problèmes d'analyse chimique sont très importants, surtout pour définir la fumure de redressement. L'analyse chimique doit obligatoirement fournir des résultats de richesse qui se classent dans le même ordre que les absorptions réalisées par les plantes cultivées sur ces mêmes sols.

2.5 Les moyens de diagnostic

Ils consistent en premier lieu en l'étude des réponses des cultures à l'engrais, au moyen d'essais. Cependant, on a vu les limites de ceux-ci pour fixer les normes d'action.

Il faut éviter, sous la pression de calculs économiques simplistes, une faute grave d'interprétation en sols correctement pourvus. L'absence normale dans ce cas de réponse aux apports d'un élément entraînerait la conclusion que l'on peut arrêter cette fertilisation, ce qui est erroné, car le sol va commencer à s'appauvrir puisqu'on ne compensera plus les exportations.

Un deuxième moyen de diagnostic est l'analyse chimique, mais il est alors nécessaire de fixer des normes pour pouvoir juger les chiffres obtenus. Ces normes doivent résulter de la confrontation de l'analyse au comportement au champ des cultures. Elles ne peuvent être que régionales - besoins fixés par les potentialités et le rythme de croissance des plantes - et adaptés à différents sols.

3. LES FUMURES CONSEILLEES EN AFRIQUE DE L'OUEST

Elles ont été le plus souvent calculées à deux niveaux:

- un système peu intensif à rendements peu élevés (cultures paysannes), et pour lequel le recyclage des résidus de cultures est assez irrégulier;
- un système intensif à rendements assez élevés, où les restitutions de résidus sont assez systématiques.

Elles sont surtout basées sur la doctrine de restitution transformée en fait en «avance», puisque la fertilisation est apportée avant la culture. Mais selon les exploitations, les fumures ne couvrent sans doute pas tous les besoins de la plante, notamment en potassium.

On a déjà souligné la complexité de la fertilisation. En effet, c'est seulement dans le cadre d'une succession de cultures avec des plantes d'exigences différentes qu'il serait possible d'appliquer, dans un milieu déjà suffisamment riche, le principe de la restitution.

Les fumures ont été simplifiées pour permettre une utilisation facile des produits commercialisés dans les différents pays. L'engrais de base choisi est souvent un complexe ternaire.

On observe, selon les régions, différents types de fumure combinant trois engrais de base: complexe ternaire, urée et chlorure. Cette simplification doit faciliter la tâche aussi bien des sociétés de développement que des utilisateurs. On évitera plus facilement ainsi les erreurs de mélange et d'ajustement. Les quantités prescrites doivent par ailleurs être des multiples de 50 kg (poids moyen d'un sac d'engrais) pour un hectare.

La fertilisation minérale doit être considérée comme un des moyens les plus efficaces d'intensification. Cette efficacité est liée à la maîtrise de la production, donc à l'ensemble des techniques mises en oeuvre afin d'obtenir cette maîtrise. Tous ces procédés sont interdépendants dans la mesure où l'insuffisance d'un seul est le facteur limitant du rendement.

Dans l'état actuel des choses, et bien que la loi des rendements non proportionnels soit la seule limite théorique, ce sont surtout des facteurs socio-économiques qui déterminent en fin de compte l'utilisation des engrais. Nul doute que cette utilisation se traduira par des modifications profondes des systèmes de production. Il conviendrait alors de réexaminer les propositions de fumure; celles actuellement prescrites constituent pour le moyen terme une approche satisfaisante, les doses recommandées s'étant révélées en moyenne les plus rentables dans l'immédiat.

4. RECOMMANDATIONS POUR L'APPLICATION DES FUMURES EN AFRIQUE DE L' OUEST

4.1 Fumures vulgarisées ou vulgarisables

La fertilisation assure une certaine régularité des rendements et tamponne en partie l'effet de l'irrégularité des pluies. Les fumures vulgarisables sont rentables avec une bonne probabilité. Toutefois, si

certaines d'entre elles sont efficaces et incitatives à court terme, il reste que leur utilisation prolongée comporte des risques lorsqu'elles sont trop déséquilibrées (fumures à un seul ou deux éléments). Quoi qu'il en soit, leur efficacité est fortement dépendante des facteurs suivants:

4.1.1 L'application correcte des techniques culturales. Celles-ci sont connues; des fiches techniques sont établies pour chaque culture et sont mises à jour régulièrement par les organismes de recherche concernés.

Les points essentiels à retenir sont:

- la bonne préparation du sol et du lit de semences
- le semis à bonne date (le plus souvent précoce) en lignes et à bonne densité, avec des semences sélectionnées et désinfectées
- le démarrage précoce pour les céréales en culture sèche
- les sarclo-binages précoces et réguliers.

La pratique simultanée de ces techniques permet généralement d'installer correctement la culture, qui utilisera alors de manière optimale les éléments minéraux apportés.

Leur mise en oeuvre globale est une priorité absolue; elle conditionne largement l'efficacité de la fumure. La vulgarisation de techniques culturales rationnelles doit donc toujours précéder, sinon accompagner, la diffusion des engrais.

4.1.2 La succession, sur le même champ, de cultures différentes, présentant chacune ses propres exigences minérales et hydriques, ainsi qu'un enracinement respectivement différent.

4.1.3 Les conditions climatiques. La rentabilité est en général meilleure dans les zones bien arrosées et sur sols riches.

4.1.4 Le contrôle phytosanitaire de la culture. Pour le cotonnier, le niébé, le soja, le sésame, la protection phytosanitaire est impérative. Elle est recommandée pour le riz dans des conditions de maîtrise totale de l'eau.

4.2 Fumure de système intensif

4.2.1 Rentabilité. Si l'on se réfère seulement au rapport entre le coût de la fertilisation minérale épanchée et le supplément de récolte obtenu par rapport au témoin non fertilisé (rapport input/output*), il est bien certain que les

* Ce rapport, souvent utilisé pour justifier ou proscrire l'usage des fertilisants, est un argument très imparfait, car il suppose la fourniture gratuite d'éléments minéraux par le sol en absence d'apports de fertilisants. Or la récolte du témoin sans engrais est obtenue grâce au capital de fertilité du sol ou au reliquat d'apports antérieurs. Si on admet la nécessité de compenser les pertes par des apports correspondants permettant le seul maintien du capital nutritif du sol, il faut aussi admettre que la dose d'entretien totale est nécessaire pour produire la totalité de la récolte. Il serait en revanche intéressant d'évaluer les pertes financières croissantes à moyen et à long terme en l'absence prolongée de fumures d'entretien.

fumures proposées pour un système intensif ont une rentabilité marginale pour quelques cultures, notamment les céréales les plus largement cultivées: maïs, riz pluvial, sorgho et mil Pennisetum. Toutefois, la «rentabilité agricole» dans les pays en développement ne peut pas être entendue de la même manière que dans les pays industrialisés. En effet, une faible rentabilité au niveau du champ peut en revanche devenir très incitative au niveau national et justifier ainsi un investissement public.

Supposons, en effet, que le rapport net par hectare entraîné par l'emploi d'une fumure minérale soit pour le riz de 400 kg seulement en moyenne pour tout le pays. Si cette céréale couvre 500 000 hectares, le rapport net au niveau national est alors de 200 000 tonnes de paddy. Il en résulterait non seulement une amélioration sensible du potentiel vivrier, mais aussi, pour l'Etat, une économie très appréciable de devises, dont une partie ne serait plus utilisée pour des importations vivrières équivalentes.

Quoi qu'il en soit, l'expérience a montré, en fonction des critères économiques actuellement pris en considération, que la «rentabilité» des différentes spéculations, dans l'ordre décroissant, était le plus souvent la suivante :

- riz avec maîtrise totale de l'eau
- cotonnier
- maïs
- soja
- igname
- riz pluvial
- sorgho
- arachide
- niébé
- manioc
- mil Pennisetum
- fourrages

Comme on l'a déjà souligné, l'utilisation des fumures en système intensif ne peut être envisagée sans l'application très rigoureuse de bonnes techniques culturales. La réponse aux éléments fertilisants est également plus liée dans ce système au matériel végétal utilisé (variété à haut potentiel).

4.2.2 Actualisation périodique des fumures. Les fumures préconisées devront sans doute être modifiés et actualisées, à la suite des résultats des programmes en cours de réalisation dans les divers pays. Les formules actuellement recommandées tiennent compte:

- des résultats expérimentaux acquis depuis plus de vingt ans
- des situations régionales, en particulier de l'aspect économique et des moyens disponibles ou accessibles par les paysans et les sociétés de développement dans chaque région.

4.2.3 Fumure de base et fumures complémentaires. Il faut souligner que les fumures des systèmes intensifs tiennent compte du fait que presque toutes les cultures, et les céréales en particulier, ont besoin d'une fumure de base N-(S)-P-K. Cette fumure, appliquée en préparation du sol, au semis ou au

repiquage, à des doses variables selon les cultures et les conditions pédo-climatiques, serait suivie d'un apport complémentaire variable d'urée et éventuellement de potassium à des stades physiologiques choisis pour les différentes plantes.

De cette manière, le nombre d'engrais à manipuler serait limité à trois seulement. Cette démarche présente incontestablement pour l'utilisateur un avantage très pratique en ce qu'elle évite les erreurs que pourraient entraîner la manipulation d'un plus grand nombre d'engrais.

Les trois engrais utilisés seraient :

- le "complexe ternaire" qui constituerait la fumure de base (équilibre 10-18-18 avec 4 CaO-6,5 S et 1 B₂O₃ en Côte-d'Ivoire par exemple)
- l'urée (46% N) pivot de la fumure² pour les céréales
- le chlorure de potassium (60% K₂O), au cas où l'apport de cet élément par la fumure de base serait insuffisant eu égard aux exportations.

4.2.4 Emploi de l'urée

Pour cet engrais, les apports ont été volontairement limitée en dessous du potentiel de l'association pluie-sol-plante. En effet, des facteurs limitants encore difficilement contrôlés (parasitisme, irrégularités pluviométriques) font que les rendements sont souvent notablement inférieurs aux espérances. Dans ce cas, les apports d'azote peuvent être excédentaires par rapport aux mobilisations minérales réelles, et entraîner des phénomènes d'acidification et de toxicité dont les conséquences seront néfastes pour la bonne gestion du patrimoine de fertilité des sols. Ces phénomènes sont d'autant plus susceptibles d'apparaître que la capacité d'échange du sol est faible et l'apport simultané de matières organiques réduit ou nul. Ils peuvent cependant être corrigés par des apports d'amendement calco-magnésien, dont les coûts sont pourtant élevés en raison de leur origine.

4.2.5 Les amendements phosphatés et calco-magnésiens

4.2.5.1 Les phosphates tricalciques naturels: Les phosphates naturels produits en Afrique de l'Ouest où des gisements sont importants (Togo, Sénégal, Mali, Haute-Volta, Niger) peuvent être utilisés avec profit pour redresser la carence phosphatée, très généralement répandue. L'efficacité de ces phosphates est prouvée dans la totalité de l'Afrique de l'Ouest. Ils demandent cependant, pour agir à court terme, un minimum de pluviométrie, des sols acides et carencés qui sont les plus fréquents, et un apport assez éloigné de la période de besoin.

On doit en limiter au minimum les manipulations industrielles pour en rendre le coût compatible avec les possibilités de l'agriculture locale. La finesse, pas toujours nécessaire, peut être obtenue par broyage dans des installations de type semi-artisanal.

Le maintien du niveau phosphaté sera ensuite assuré par le P₂O₅ inclus dans le complexe NPK apporté annuellement. Il est à signaler qu'un semis² régulier de graines fourragères ou de plantes de couverture (5 à 10 kg/ha) peut être réalisé avec des distributeurs, centrifuges ou à projection, en mélange avec 100 kg/ha de phosphate tricalcique.

4.2.5.2 Le carbonate de chaux et la dolomie. L'acidification des sols, phénomène naturel inéluctable, est accentuée par la mise en culture et par l'emploi des engrais. En culture continue intensive, l'amendement doit devenir une technique culturale à employer au même titre que l'apport d'engrais minéraux.

La solution idéale est de suivre l'évolution du pH du sol et d'intervenir, lorsque celui-ci approche la valeur 5, par des apports de doses moyennes (0,5 à 1 t/ha de CaO), de façon à maintenir le pH du sol au-dessus de ce seuil limite.

Si ce suivi n'est pas possible, deux méthodes d'application peuvent être prescrites:

- la méthode «douce», apport annuel équilibrant les pertes de l'année, soit 150 à 200 kg/ha de dolomie/an. On peut également faire un apport modéré plus irrégulier (tous les 3 ans), soit 400 à 500 kg/ha de dolomie, en apportant l'amendement sur la culture qui réagit le mieux au calcium;
- la méthode «forte», dans le cas où l'acidification entraîne des phénomènes de toxicité évidents: il s'agit d'un apport important, de 1 à 4 t/ha de dolomie (correction). Les doses dépendent du niveau d'intensification (quantités et nature des engrais utilisés, valeur des exportations) et du type de sol (faible ou forte capacité d'échange).

La mesure de l'acidité potentielle valeur (T) - (S) est la plus sûre pour évaluer les quantités à apporter en fonction du relèvement de pH désiré. Sur terre légère les quantités seront notablement réduites par rapport à celles recommandables en terres fortes et humifères.

Il ne faudra cependant pas se contenter d'un apport important exceptionnel, mais compenser régulièrement les pertes pour maintenir le pH à un niveau satisfaisant. Appliquer rationnellement les amendements calciques ou calco-magnésiens constitue donc l'un des plus importants facteurs de fertilité et de productivité des sols acides en culture intensive.

Il est urgent de rechercher et tester des amendements susceptibles d'être produits localement, en raison du coût des produits d'origine étrangère. On soulignera qu'une dolomie ou un mélange contenant de 3 à 4 fois plus de calcium que de magnésium (ce qui correspond à l'équilibre des pertes) est à conseiller, mais tout amendement calco-magnésien disponible permettant d'éviter la mise en solution d'éléments toxiques pour les plantes (aluminium, manganèse, fer) peut être recommandé, le critère étant alors le coût par éléments Ca + Mg épandus à l'hectare.

4.3 Techniques permettant de mieux rentabiliser les fumures

La mise au point des fumures de système intensif, qui se proposent d'atteindre le potentiel attendu de l'association pluie-sol plante et de compenser exportations et pertes par lessivage, ne constitue pas l'objectif exclusif des agronomes.

Toutes les techniques permettant de réduire le coût de la fertilisation minérale et d'accroître son efficacité sont prioritaires.

Nous citerons principalement les suivantes:

- l'introduction systématique des légumineuses dans la rotation;
- l'apport, aussi fréquent que possible, des fumures organiques à base de fumier, de compost, de résidus de récolte, etc. Il faut souligner, à ce propos, que l'usage exclusif du fumier ne peut résoudre le problème de l'alimentation minérale des plantes. Le fumier qui, en fait, est le reflet du sol, reste trop pauvre, notamment en phosphore, pour que les autres éléments puissent être utilisés de façon satisfaisante.

Il peut même induire un déséquilibre dans un sol non corrigé en phosphore. En outre, en raisonnant au niveau de l'exploitation, l'utilisation exclusive du fumier est une pratique appauvrissante à cause du transfert des éléments fertilisants d'une zone (pâturage) au bénéfice d'une autre. Son intérêt reste cependant entier si on restitue au sol, par des améliorations foncières (apport de phosphate tricalcique), sa fertilité potentielle;

- le travail du sol et la préparation appropriée du lit de semences.

5. PERSPECTIVES D'UTILISATION DE LA FUMURE - RECOMMANDATIONS - DEMARCHE SYSTEME

Si les thèmes légers (fumure minérale vulgarisable, techniques culturales simples améliorées) peuvent et doivent être rapidement proposés à tous les cultivateurs, les systèmes intensifs ne pourront s'adresser qu'aux meilleurs d'entr'eux.

Le problème de la régularité de bons rendements en céréales (et non de rendements exceptionnels) et de l'accroissement du potentiel de fertilité du sol semble pouvoir trouver sa solution dans l'application des thèmes suivants:

- fixation des cultures;
- correction de la carence phosphatée avec des phosphates peu chers (tricalciques régionaux);
- rotation adaptée, tenant compte des contraintes socio-agro-économiques, des vocations et des potentialités régionales; les cultures industrielles doivent nécessairement être intégrées dans un système de culture qui leur est imposé;
- travail du sol satisfaisant autorisant le développement optimal du système racinaire des plantes, permettant le maintien ou la formation d'une bonne structure du sol, augmentant les réserves en eau utile et favorisant la couverture du sol, et limitant ainsi le ruissellement, l'érosion et le lessivage des éléments minéraux.

C'est pourquoi la culture attelée partout où elle est possible doit être recommandée pour tous les aspects positifs que sa pratique apporte:

- restitution maximale des matières organiques et recyclage le plus complet des résidus de récolte*;
- fumure d'entretien en rapport avec les exigences des cultures, mais à un niveau modeste permettant d'obtenir un bilan minéral positif (équilibre entre apports et exportations selon les expériences de rendement.

L'apport de doses minérales plus fortes dépend de nombreux facteurs. Plus les charges fixes des cultures seront élevées (perfectionnement des techniques culturales, introduction de la culture motorisée, traitements phytosanitaires), plus importante devra être la fumure procurant le maximum d'intérêt des charges.

En attendant, il demeure essentiel de poursuivre l'évaluation des systèmes techniques de culture et de production adaptés à chaque zone écologique et de tester, en collaboration étroite avec les sociétés de développement, la valeur des thèmes proposés et combinés au niveau de l'exploitation en intégrant les diverses attitudes économiques, sociales, psychologiques. Ce travail, déjà largement entamé, nous apparaît comme très prometteur.

* Toutes les formes possibles de matières organiques disponibles sur l'exploitation doivent être restituées (fumier, terre de pars, compost résidus).

EXPORTATIONS MINÉRALES EN N P ET K DES PRINCIPALES CULTURES (CÔTE-D'IVOIRE)

	Teneurs moyennes de la MS (%)			Exportations (kg/t de MS)			Espérance de rendement matière fraîche résidus		Exportations pour la production de produit frais (kg/ha)			Exportation pour la production de produits frais en éléments fertilisants (kg/ha)		
	N	P	K	N	P	K	(t/ha)	(%)	N	P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Igname (tubercules)	1,2	0,15	1,4	12	1,5	14	15	75	45	5,6	53	45	13	64
Manioc (tubercules)	0,3	0,15	1,0	3	1,5	10	30	80	18	9,0	60	18	21	72
Maïs (grains)	1,6	0,25	0,40	16	2,5	4	4	15	54,4	8,5	13,6	55	19	16
Riz pluvial (paddy)	1,5	0,25	0,25	15	2,5	2,5	2	18	24,6	4,1	4,1	25	9	5
Riz irrigué (paddy)	1,3	0,25	0,25	13	2,5	2,5	4	20	41,6	8,0	8,0	42	18	10
Coton (graines)	3,5	0,45	0,90	35	4,5	9	2	15	60	7,7	15,3	60	18	18
Soja (grains)	6,0	0,60	2,00	60	6,0	20	2	15	102	10,2	34	102	23	41
Arachide (gousses)	4,3	0,35	0,55	43	3,5	5,5	2	15	73	6,0	9,4	73	14	11
Mil (grains)	1,9	0,45	0,80	19	4,5	8	1,5	10	25,7	6,1	10,8	26	14	13
Sorgho (grains)	2,2	0,20	0,35	22	2,0	3,5	2	10	39,6	3,6	6,3	40	8	8

Notes

- Il convient de distinguer les mobilisations minérales totales, qui sont celles nécessaires à la végétation d'une culture pour produire un rendement donné en produits utiles.
- Les exportations minérales sont celles qui sont irrécupérables comme conséquence de l'exportation des récoltes, constituées par exemple par grains + fibres (cotonnier), graines + gousses (arachide), panicules complètes (riz et sorgho), épis complets (maïs et mil), gousses (soja)... Les chiffres mentionnés, qui se rapportent aux seuls produits utiles (grains), doivent donc être majorés de 10 à 30%. Dans le cas du soja, par exemple, les exportations par les gousses sont importantes. Celles des rafles de maïs ou des rachis de riz sont par contre assez limitées.
- Quand les résidus de récoltes pouvant être restitués (tiges, feuilles ou racines) sont totalement exportés, les apports en fertilisants doivent être beaucoup plus importants si l'on veut maintenir un bilan minéral nul au niveau du champ. Ainsi, pour 2 t/ha de sorgho (grains, tiges et feuilles) exportées au lieu d'être enfouies, il faudrait 68 kg N/ha au lieu de 40 kg/ha; pour 2 t/ha de coton (graines, pieds arrachés) exportées, 38 kg/ha de P₂O₅ seraient nécessaires au lieu de 18 kg/ha; pour 2 t/ha d'arachide, gousses, fânes exportées et non enfouies (cas général s'il y a du bétail sur l'exploitation), c'est 48 kg de K₂O qu'il faudrait restituer au lieu de 11 kg! On mesure ainsi l'importance du recyclage des résidus de culture pour la fourniture d'éléments minéraux et la nécessité d'établir un plan de fumure rationnel au niveau d'une succession de cultures.

UTILISATION DES RESIDUS DE RECOLTE

(Notes de cours)

par

J. POULAIN

1. FONCTION ET EFFETS DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS LES SOLS TROPICAUX

- Source d'éléments minéraux pour les plantes (éléments majeurs et éléments souvent non inclus dans les fumures minérales)
- Matière organique constitue un complexe de stockage important des éléments fertilisants
- Elle joue un rôle fondamental pour la nutrition azotée des plantes
- Substrat nutritif pour les microorganismes
- Complexe absorbant et pouvoir tampon
- Facteur important de la rétention de l'eau et de sa bonne utilisation
- Facteur de la structuration des sols et du développement racinaire
- Source de substances inhibitrices ou stimulantes pour la croissance
- Facteur de résistance aux maladies parasitaires

2. IMPORTANCE DES AMENDEMENTS ORGANIQUES

- Nécessité mais insuffisance des fumures organiques (reflet de la fertilité du sol)
Raisonner à l'échelon du champ, de l'exploitation, de la région
- Evaluation des restitutions organiques ou minérales
 - à déterminer en fonction des cultures et des systèmes (système traditionnel ou intensif)

3. AMELIORATION POSSIBLE EN SYSTEME PLUS INTENSIF

3.1 Labours d'enfouissement

Dissociés deux effets : labour et enfouissement ainsi que les effets annuels, résiduels ou cumulatifs
La définition, modalités, nature et dates d'enfouissement sont essentiels.

- Enfouissement de matière verte
 - effet sur la végétation
 - . libération progressive de N
 - . stimulation de l'activité biologique
 - . effet sur la cohésion du sol
 - obstacles à l'enfouissement
orientation - la culture fourragère
- Enfouissement de paille
 - effet conditionné par deux facteurs intrinsèques :
 - . C/N
 - . composition en acides organiques solubles
 - et par trois facteurs du milieu :
 - . humidité à l'enfouissement
 - . alternance, humectation - dessiccation
 - . acidité du sol.

3.2 Compostage

Principales caractéristiques :

- immobilisation importante d'azote (gain d'azote)
- accroissement des apports au sol de précurseur de substances humiques (lignine en particulier)
- homogénéisation du matériel végétal de départ
- suppression de l'effet phytodépresseur de l'enfouissement de certaines matières végétales

3.3 Fumier

C'est un engrais et amendement.

- Source de matière minérales (mais reflet végétation)
- Propriétés biologiques
- Activateur biologique (améliore les rendements des céréales semées tardivement)
- Propriétés d'amendement
 - . frein à l'acidification
 - . suppression de la chlorose ferrique induite

Il y aurait lieu, à l'instar de la fertilisation minérale, d'instaurer une véritable politique d'épandage, en raison du gaspillage dont malheureusement il fait trop souvent l'objet.

3.4 Autres sources

Encourager les opérations collectives de récupération maximale des déchets organiques humains et de leur compostage au niveau d'un village.

Il est nécessaire de considérer la matière organique comme un moyen de valoriser l'engrais minéral, mais non de s'y substituer.

4. PROPOSITIONS POUR L'UTILISATION DES RESIDUS DE RECOLTE DANS LES SYSTEMES DE CULTURE TRADITIONNELS

La distinction entre les systèmes avec l'élevage et sans élevage est fondamentale pour l'utilisation des résidus de récolte. D'autre part, celle-ci doit être d'autant plus recommandée que les sols de repos sont limités, à plus forte raison inexistantes.

4:1 Dans l'exploitation où l'élevage est présent, toutes les possibilités sont offertes :

- fabrication du fumier
- enfouissement des résidus (si boeufs de labour)
- transport de paille pour compostage au champ ou à proximité des habitations, etc..

On doit s'interdire les solutions qui font appel au brûlis.

La majorité des résidus de récolte, sinon la totalité, doit être réservée à l'alimentation du bétail.

Dans ces conditions, on doit délibérément s'orienter vers la fabrication rationnelle de fumier avec litière, à condition que les transports soient possibles, et l'enfouissement des résidus non consommés. L'enfouissement pourra se situer en fin de cycle, immédiatement après l'évacuation des pailles de céréales.

Celles-ci peuvent être évacuées directement, ou hâchées afin d'en faciliter le transport et le stockage. En début de cycle, dès que les premières pluies ont rendu le travail du sol réalisable dans de bonnes conditions, les résidus non consommés peuvent être facilement enfouis. On aura soin d'éviter les transferts de fertilité en établissant un calendrier régulier d'apports organiques sur tous les champs de l'exploitation.

4.2 Dans les exploitations sans élevage les possibilités sont plus restreintes, et cependant la nécessité d'une restitution organique y est plus impérative. On peut envisager le mulch ou le paillage avec transfert de fertilité. Dans la zone d'Ouahigouyra (Haute-Volta), le paillage commence en février et se réalise non seulement avec les résidus de récolte, mais également avec des herbes de brousse que les cultivateurs vont chercher, parfois fort loin. La paille est étendue sur le sol, en couche relativement mince, et maintenue par des pierres; cette pratique a fait complètement disparaître tant l'incinération des tiges de mil après la récolte que les feux de brousse. Les semis sont effectués en poquets, à travers le paillage, sur le sol non travaillé.

Le compostage est également possible, mais les transports devant être manuels, ou en traction asine, les longs déplacements sont interdits. On pourrait envisager un compostage direct au champ et une utilisation du compost après la saison des pluies.

4.3 Nécessaire intégration-agriculture/élevage : Les contraintes d'une exploitation-sans bétail sont évidentes-et montrent à quel point la culture attelée doit rester une priorité absolue dans les objectifs de vulgarisation. Les effets de celle-ci sont souvent très lents à se manifester, mais des exemples (région de San - Ségou au Mali), montrent que des résultats importants et irréversibles peuvent être atteints, quelquefois après une ou deux décennies.

Dans un premier stade, la vulgarisation devrait s'efforcer d'amener le cultivateur à utiliser les animaux à des travaux simples. La charrette peut paraître comme un moyen d'incitation important. Les animaux devront être placés pendant la nuit et aux heures chaudes dans un abri simple où la fabrication de fumier avec apport de litière peut être envisagée. La réelle intégration de l'agriculture et de l'élevage correspond sans doute à un niveau technique élevé du paysan. La stabulation libre du bétail permettrait alors un recyclage aussi complet que possible des résidus de culture de l'exploitation. Il est dommage que même dans des conditions où la présence d'élevage le permettrait, la contrainte du transport fait que les résidus de récolte interviennent souvent peu dans la préparation des fumiers, ceux-ci ne pouvant être considérés comme des terres de parc.

4.4 MOTORISATION :

Dans certaines situations on ne peut concevoir un recyclage des résidus de récolte, et par conséquent un maintien de la fertilité, que par l'introduction de la motorisation (ou semi-motorisation). Celle-ci permettrait :

- la préparation du matériel à enfouir (gyrobroyage)
- l'enfouissement homogène du matériel organique ainsi préparé sans contraintes de calendrier.

Le problème est alors économique, mais ce choix ne peut être fait sur un simple bilan à court terme.

EXPORTATION POUR 1 TONNE DE SUBSTANCES UTILES
(Résultats IRAT Sénégal - Mali, Haute-Volta, Niger)

Cultures	Exportations totales					Exportations minimums					
	N	P O ₂	K O ₂	CaO	MgO	S	N	P O ₂	K O ₂	CaO	MgO
S											
Riz (1 t paddy)	24	12	34	10	4		13	7	4	1	
Arachide (1 t gousses)	51	9	24	20			38	5	8	1,5	
Mil (1 t grain)	43	20	20	25			19	10	11	2,6	
Sorgho (1 t grain)	34	7	17	14			22	5	5	1,4	
Maïs (1 t grain)	26	12	21	3	4		19	10	12		

Cultures	Rapport Exportations minimums/ exportations totales					Rapport exportations pailles/ produits utiles						
	N	P O _{2 5}	K O ₂	CaO	MgO	S	N	P O _{2 5}	K O ₂	CaO	MgO	S
Riz	54	58	12	10			0,8	0,7	7,5	9,0		
Arachide	75	56	33	8			0,3	0,8	2,0	12,3		
Mil	44	50	55	10			1,3	1,0	0,8	8,6		
Sorgho	65	71	29	10			0,5	0,4	2,4	9,0		
Maïs	73	88	57				0,9	0,25	0,75			

exportations minimums correspondant

pour le riz : à la panicule (1 t paddy - 1,5 t paille)

pour l'arachide : aux gousses

pour le mil : à l'épi

pour le sorgho : à la panicule

pour le maïs : à l'épi

RAPPORTS DES PAYS

C A M E R O U N

I. GENERALITES

Les sols du Cameroun ont en général une faible teneur en matière organique; ils présentent souvent une faible couche en humus et sont d'une fertilité moyenne. Quelques aires peu étendues font exception, par exemple: les sols d'origine volcanique avoisinant le Mont Cameroun, les vallées des grands fleuves... A cause de cette carence en matière organique, les sols retiennent moins l'humidité, emmagasinant moins les éléments nutritifs et se dégradant vite lorsqu'ils sont mis en culture.

II. METHODES TRADITIONNELLES ET MODERNES D'UTILISATION DES MATIERES ORGANIQUES

En général, au niveau du petit paysan, les matières organiques sont sous-exploitées. Seuls les grandes exploitations et les centres de recherche les utilisent aux fins agricoles.

1) Déchets animaux

a) Méthodes traditionnelles. Malgré l'existence d'un important cheptel bovin, ovin et caprin, leurs déchets solides et liquides ne sont que faiblement utilisés pour des fins agricoles, parce que dans le Nord du pays, où existe la majorité du cheptel, l'élevage est traditionnellement nomade. L'association agriculture-élevage n'existe pas. L'introduction de l'agriculture Attelée dans cette région aurait dû amorcer une association entre l'agriculture et l'élevage, mais l'on a constaté que les paysans, après le travail, laissent leurs bêtes se débrouiller au dehors pour se nourrir.

A l'Ouest du pays, région surpeuplée, l'élevage en enclos existe de façon traditionnelle. Les boeufs sont parqués dans un enclos pendant deux ans, puis transférés dans un autre parc. L'ancien parc, ainsi fumé, est utilisé pour la culture. Ceux qui ne possèdent pas d'animaux vont parfois rechercher les bouses dans les enclos des éleveurs pour les épandre dans leurs plantations.

Au fil des années, grâce à l'encadrement et à l'introduction de cultures nouvelles, il a été adopté par certains paysans l'utilisation des déchets animaux. Ces déchets sont rassemblés par des éleveurs lors du nettoyage des loges des animaux (poulaillers, porcheries ou étables) et utilisés en maraichages ou épandus à l'aide de la pelle ou de la houe, sur les couronnes de caféiers ou lors de la mise en place de jeunes bananiers. Les méthodes de conservation sont inexistantes.

b) Méthodes modernes. Ici l'accent peut être mis sur le fumier de ferme, constitué de déjections liquides et solides mélangées à de l'herbe. Le compostage de ce fumier se fait d'abord par stockage de fumier en stabulation libre dans l'étable. On y laisse s'accumuler le fumier formé de restes de foin et de déjections solides et liquides. Ensuite ce fumier est mis en tas sur plateforme (cimentée ou damée) et arrosée au purin. Pour la conservation on recouvre le tas avec de la paille ou une bâche en plastique perforée, empêchant ainsi le dessèchement et favorisant la décomposition. L'épandage se fait au moyen d'un épandeur de fumier (pelle ou fourche).

2) Déchets végétaux

a) Methodes traditionnelles. Au Nord Cameroun, en exploitation paysanne, les pailles et chaumes ne sont nullement exploitées à des fins agricoles. Les tiges de mil servent plutôt à la fabrication des toitures des maisons, des greniers ou des claies de séchage. De même, dans les zones forestières du Sud, région de culture itinérante, les pailles et chaumes ne sont pas exploitées. A l'Ouest du pays, où la jachère est rare à cause du manque de terres, on enfouit des déchets végétaux à l'intérieur des billons avant le semis des cultures vivrières.

b) Méthodes modernes. Dans les centres de recherche et les écoles d'agriculture, chaumes et pailles sont broyées et enfouies au cover-crop ou au cultivateur rotatif.

3) Déchets organiques (Mulch)

Il est de pratique courante par les cultivateurs du bananier, du caféier ou du cacaoyer d'utiliser le mulch pour lutter contre les adventices et diminuer l'évapo-transpiration du sol en saison sèche.

Pour le bananier, les feuilles sèches et les troncs, coupés en morceaux, sont épandus après la récolte autour du drageon. Quant au cacaoyer, lorsqu'on le plante aux densités appropriées, un épais tapis de feuilles s'installe dès la quatrième année d'entretien et empêche la montée d'adventices. Il est également conseillé aux cacaoculteurs en saison sèche de pailler les jeunes plants à l'aide d'herbes coupées dans les interlignes. A l'ouest du pays, la matière utilisée pour le mulch des caféiers comprend entre autres les déchets provenant de l'usinage du café: parches, pulpes, coques.

4) Engrais verts

L'engrais vert est peu utilisé au Cameroun en milieu paysan; au Nord, le soja, utilisé comme engrais vert, a amélioré les rendements du blé planté en seconde culture. Dans les plantations arboricoles du Sud, le pueraria, planté dans les interlignes, est utilisé comme plante de couverture, et enrichit en azote les plantes qui s'y trouvent. La pratique de la fumure par l'engrais vert est courante dans les Centres de recherche.

5) Ordures ménagères

Les ordures municipales, qui sont abondantes (60.000 tonnes à Douala en 1969) ne sont pas exploitées aux fins agricoles; elles sont collectées et jetées hors de la ville. Par contre, en milieu rural, on se débarrasse de ses ordures en les jetant derrière les habitations. Il se produit un compostage naturel dont le stade final est le terreau. Les cultures mises en place sur ce terreau se comportent bien par rapport aux plantes cultivées sur terrain ordinaire.

6) Déchets agro-industriels

Il s'agit notamment des tourteaux d'arachide, de coton et de malt, des parches, pulpes et coques provenant de l'usinage du café, et des bagasses de la canne à sucre. Beaucoup de ces déchets sont utilisés en alimentation animale.

A l'Ouest, zone caféière par excellence, les grands planteurs épandent les pulpes (immédiatement après le dépulpage), les parches provenant du déparchage et les coques de café dans les caféières. Compte tenu de la production de cette région, les quantités de ces déchets sont très importants: 13.000 tonnes de parche et 39.000 tonnes de pulpe fraîche.

III. ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES

La matière organique d'origine animale ou végétale, de par le volume qu'elle occupe, nécessite un matériel adapté pour le transport du lieu de fabrication au champ où il doit être épandu. Ce matériel (charrette, brouette ou remorque) est coûteux et n'est donc pas toujours à la portée du paysan au Cameroun. Les quantités de matière à transporter étant importantes, leur manutention nécessite un grand nombre de journées de travail dont ne dispose pas toujours le paysan, compte tenu de ses autres occupations. De plus, le petit paysan qui n'utilise pour labourer que la houe ou la daba ne dispose pas d'un matériel adapté pour l'enfouissement des matières organiques, parce que ces outils ne peuvent pas labourer profondément le sol.

Les services de vulgarisation mettent bien sûr l'accent sur la nécessité d'utiliser les engrais tant organiques que minéraux, mais à cause des difficultés évoquées plus haut, seuls les engrais minéraux sur les cultures industrielles sont utilisés à grande échelle. Dans un pays où l'agriculture est le moteur de l'économie et où le pouvoir d'achat des paysans est encore relativement bas, le remplacement des engrais minéraux par le recyclage des matières organiques permettrait d'atteindre une économie de devises fort appréciable.

C O N G O

par

A. NZIEFE

I. GENERALITES

Au Congo, bien qu'environ 70 pour cent de la production agricole proviennent de la paysannerie, la pratique de l'agriculture itinérante et les prix excessivement élevés des engrais minéraux limitent leur utilisation.

Cependant, la fumure organique, qui devrait dans ce cas occuper une place primordiale, ne peut pas être pleinement utilisée, compte tenu des pratiques agricoles courantes et la qualité rudimentaire des instruments aratoires.

II. METHODES TRADITIONNELLES ET MODERNES D'UTILISATION DES MATIERES ORGANIQUES

1) Déchets animaux

D'une manière générale, la pratique démontre que leur rentabilité ne peut être acquise que dans une association agriculture-élevage.

Or, l'effectif du cheptel congolais est si minime qu'on n'a pas pu encore envisager une utilisation moderne et rationnelle des matières organiques d'origine animale.

Les cas isolés d'excréments et de cadavres d'animaux en pâturages, dans la nature et dans les fermes, constituent tout de même une source de matière organique, mais négligeable en quantité par rapport aux besoins. Aussi les statistiques agricoles n'en font pas état.

2) Déchets végétaux

En culture traditionnelle, l'absence de moyens de traction animale ou mécanique conduit à une réduction par le brizlis du potentiel de matières organiques que constituent les herbes, arbres, branchages coupés lors du défrichement.

En exploitation moderne, les déchets de récolte, les lits d'herbes mâchées après passage de roto-broyeur ou gyro-broyeur sont enfouis lors des labours.

3) Engrais verts

Du fait du caractère itinérant de l'agriculture, l'engrais vert est presque inexistant en milieu paysan. Par contre en exploitation moderne, les espèces végétales utilisées sont:

- Stylosanthes gracilis
- Pois d'Angol
- Maïs
- Sorgho-mulch

a) *Stylosanthes gracilis*

Récemment introduit au Congo (1955), il est vulgarisé dix ans après. Sa verdure et son apparentement à la luzerne l'ont vite fait adapter comme fourrage, plante de couverture, engrais vert mais surtout et de plus en plus comme jachère simple ou jachère pâturée. Dans la rotation il vient de préférence en fin d'assolement, d'où la nécessité d'un enfouissement assez onéreux.

b) Pois d'Angol

Lancée vers les années 1954-55 par la Compagnie Générale d'Oléagineux Tropicaux (C.G.O.T.), cette plante fut utilisée dans la monoculture d'arachide en assolement avec celle-ci. La rotation entre les deux cultures ne se pratique plus à cause de la parenté des deux plantes.

c) Maïs

Dans certaines entreprises agricoles, le maïs est utilisé comme engrais vert dans les assolements d'un an:

premier cycle : arachide

deuxième cycle: maïs (engrais vert), semis à forte densité.

d) Sorgho-mulch

Le Sorgho-mulch est la pratique qui consiste à semer du sorgho et à faire coucher les tiges au moment de la maturité des graines; on obtient ainsi des repousses qu'on enfouit dans les assolements de deux ans. Cette pratique commence en début de saison de pluies et prend fin en saison sèche.

première année : deux cycles d'arachides

deuxième année : deux cycles de sorgho-mulch

4) Ordures municipales et déchets industriels

a) Ordures-municipales

Les ordures municipales comme source de matières organiques n'existent en quantité appréciable que dans les grandes villes. Elles sont constituées pour la presque totalité par les ordures de la vie ménagère: la rareté des industries alimentaires ne permet pas de disposer de déchets industriels en quantité, et le curage des fossés et égouts est inexistant. Les quantités journalières d'ordures ménagères à Brazzaville s'élèvent à 136 tonnes. Elles dépasseront 173 tonnes en 1985.

Au Congo, l'organisation de la collecte des ordures municipales commença en 1956 à Brazzaville, date de la création d'un premier centre maraîcher. Les ordures étaient entassées après un triage sommaire et sans traitement sur deux compostières sous abri, et le compost était livré gratuitement. Après les années 1950, le développement urbain incontrôlé ayant imposé l'occupation du centre maraîcher, en vue de son lotissement, il a fallu en réinstaller plusieurs à de plus grandes distances de la ville. Du fait des majeurs coûts ainsi engagés, les livraisons des ordures étaient devenues payantes.

b) Déchets industriels

- (i) des centrales thermiques - il s'agit des huiles qui sont rejetées dans la nature et qui finissent par polluer les cours d'eau qu'elles rejoignent. Il n'existe pas de structures de traitement des eaux polluées.
- (ii) des brasseries - les deux brasseries de la place rejettent la drêche qui est récupérée par les agriculteurs, éleveurs et pisciculteurs, chacun la transformant et l'utilisant à sa manière.
- (iii) agro-industriels - les déchets de la canne à sucre (mélasses et bagasses), du palmier à huile, de l'arachide, du paddy... ne sont pas pleinement utilisés.

III. FIXATION BIOLOGIQUE DE L'AZOTE

1) Légumineuses

Des essais de culture du soja comme plante fourragère pour l'alimentation du bétail sont entrepris par le Centre de recherche agronomique de Loudima (C.R.A.L.). S'enfouissant facilement, il pourra constituer un engrais vert assez intéressant. Des autres espèces utilisées comme engrais vert, des légumineuses comme le flemingia, la crotalaine présentent l'inconvénient de fournir peu de matières vertes, tandis que des légumineuses rampantes comme le pueraria javaica, le controsema pubescens offrent au contraire beaucoup de matières vertes mais sont excessivement envahissantes.

2) Plantes non légumineuses

La végétation graminéenne naturelle est enfouie lors des labours (préparation des sols) en même temps que des débris végétaux et chaume provenant de la récolte des céréales.

IV. ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES

La grande accumulation des ordures ménagères et des déchets industriels autour des centres urbains et pré-urbains représente un danger pour la santé des hommes, des animaux et des plantes. Le manque de structures de traitement limite leur possibilité d'utilisation comme matière organique, favorisant ainsi leur cumul dans l'environnement. Le souci permanent du gouvernement est de chercher les solutions indispensables au recyclage de ces matières.

V. DEVELOPPEMENT DU RECYCLAGE DES MATIERES ORGANIQUES

Il n'existe aucune méthode de transformation de matière organique en engrais. A l'exception des travaux récents du C.R.A.L. sur le soja, la fixation biologique de l'azote n'a jamais fait l'objet d'une recherche sérieuse.

Un projet de 1971 envisageait le montage à Brazzaville d'une usine de compostage (Coopération Danemark-Congo). Ce projet n'a jamais vu le jour par manque d'harmonie de point de vue entre les partenaires. Une autre proposition de ce genre prévoyait la fourniture d'un compost de qualité, mais la proposition n'était pas accompagnée d'une analyse économique permettant une meilleure appréciation de l'affaire.

Une société primée ayant proposé l'installation d'une usine de compostage et d'incinération des résidus, la Direction de l'aménagement du territoire, dans une note du 17 juin 1978, objecte : «l'Etude (...) n'est pas recevable et son prix excessif, 10.400.000.000 F.CFA pour le prix d.e base et 9.400.000.000 F.CFA pour la solution variante.» Le prix d'acquisition d'un matériel aussi cher, auquel il fallait ajouter les frais de collecte et de fonctionnement, risquait en effet d'amener à la production d'un compost assez coûteux, avec pour conséquence immédiate l'élévation du prix de revient des produits agricoles.

G U I N E E

par

Facely TRAORE

I. GENERALITES

Les conditions actuelles de l'agriculture guinéenne ne permettent pas d'acquérir une quantité suffisante d'engrais chimiques en raison de son emploi technique difficile et son coût très élevé. Les matières organiques demeurent donc le principal facteur de fertilisation des sols en raison du rôle qu'elles jouent dans l'effort d'azote et même du phosphore dont elle est la source essentielle. Diverses sources de matières organiques existent en Guinée :

- Débris végétaux
- déjections liquide et solide des animaux des fermes
- ordures ménagères (ordures municipales)
- les déchets industriels : déchets d'huilerie (tourteaux); centres d'abattage de Mamou (où l'on collecte le sang séché); sucreries de Coba.
- minéraux broyés
- gadoues
- vase des étangs, mares et rivières
- légumineuses et graminés (quelques espèces)

Toutes ces sources sont exploitées d'une manière traditionnelle (c'est-à-dire archaïque) dans certaines régions et moderne dans d'autres (grâce à la vulgarisation et la formation).

II. METHODES TRADITIONNELLES ET MODERNES D'UTILISATION DES MATIERES ORGANIQUES

A. Méthodes traditionnelles

Dans les tapades du Fouta, les populations collectent des résidus végétaux, des balayures de cours, les déchets liquides et solides des animaux et les entassent à quelques mois des cultures. Dès que les travaux commencent, elles éparpillent ces déchets déjà décomposés pour la fertilisation des tapades. Dans certaines régions de la Haute Guinée la végétation spontanée est enfouie ou l'on fait effectuer les premiers labours après l'enfouissement des chaumes ou pailles.

Certains cultivateurs posent des feuilles vertes autour des jeunes pieds de maïs pour garder l'humidité et empêcher la prolifération des mauvaises herbes. Ces feuilles se décomposent après la récolte et donnent de l'humus.

Des populations pratiquant la culture maraichère (oignon, tomate, gombo) mettent en tas les crottins de chèvre en vue d'obtenir un fumier artificiel, mais le taux du cheptel étant faible, on n'arrive pas à fertiliser de grandes superficies.

B. Méthodes modernes

Dans les Centres d'éducation révolutionnaire (CRE), les pouvoirs révolutionnaires locaux (PRL), les fermes agricoles communales (FAC), les facultés agronomiques et les fermes agro-pastorales d'arrondissement (FAPA), on utilise des matières organiques de façon moderne. Tous les débris végétaux, les résidus industriels, les ordures municipales y sont utilisés pour la confection de compostières en vue d'alimenter les domaines cultivés. Dans la région administrative de Koubia les fermiers utilisent le fumier obtenu à partir de leur propre cheptel pour fertiliser certains de leurs domaines. Tous les arrondissements sont dotés de FAPA pour la vulgarisation des pratiques culturelles; dont l'utilisation scientifique des matières organiques, qu'elles sont en mesure de recevoir facilement, leurs prix de revient étant bas. Dans certains centres de recherche agronomique tels que Bordo (Kankan), la culture de certaines légumineuses utilisées comme engrais verts est pratiquée (Azolla, pois d'Angol et haricot de Kankan).

II. ROLE DES ENGRAIS VERTS DANS LA FERTILISATION

A l'issue de certaines expériences effectuées sur le champ à Sonfonia (Conakry) et à Bordo (Kankan) on a conclu que les légumineuses ont un meilleur effet en tant qu'engrais verts que celui du fumier de ferme sur le rendement du riz inondé. Elles élèvent le rendement en graine et en paille, dont une grande quantité est transformée à son tour en matière organique. Leur teneur en N et en chlorophylle est très élevée. Elles permettent d'obtenir des quantités importantes de fumure car leur croissance est très rapide.

III. PLAN DE DEVELOPPEMENT DU RECYCLAGE DES MATIERES ORGANIQUES

Chaque année, le Ministère de l'agriculture, des eaux et forêts et la FAPA organisent des Séminaires de formation sur l'utilisation des engrais. A travers ces forums les cadres de l'agriculture et les paysans bien avertis procèdent à une planification pour la fertilisation des sols.

IV. VULGARISATION ET FORMATION

On a utilisé plusieurs moyens qui ont donné des résultats encourageants :

- installer et faire fonctionner normalement les brigades de production
- créer les CER, les fermes communales, les fermes agro-pastorales où des agents vulgarisateurs sont chargés d'organiser les paysans, renforcer la solidarité entre les producteurs et améliorer leurs conditions de vie, organiser la campagne agricole et insérer les engrais verts dans le système agricole.

H A U T E - V O L T A

par

Moussa SEREME

I. METHODES TRADITIONNELLES ET MODERNES D'UTILISATION DES MATIERES ORGANIQUES DANS L'AGRICULTURE

A. Déchets animaux

- La Haute Volta estime son cheptel à environ 2.700.000 bovins, 2.700.000 caprins et 1.700.000 ovins.

Le taux d'utilisation actuel des charrues bovines est de 8 % et celui des charrues asines 7 %, pour respectivement 60.000 bovins et 45.000 ânes. La dichotomie de la fonction de production végétale et animale dans les pays sahéliens en général, n'a pas permis l'installation d'une vraie tradition d'utilisation systématique des déchets animaux, rendue particulièrement difficile à cause du mode de production extensif et itinérant du monde rural sahélien. En général, les déchets sont perdus du fait des faibles moyens de transport et des lieux de péture du bétail.

Cependant il convient de noter l'existence de quelques contrats entre certains agriculteurs et des éleveurs peuhls prévoyant l'utilisation des champs comme parcs provisoires.

Il existe aussi entre éleveurs et agriculteurs l'échange de bouse de vache et de poudrette contre le sel en général.

Un élevage non négligeable de caprins, d'ovins et de volaille fournit de la matière organique qui est déversée dans les jardins familiaux et autour des cases, ce qui donne cet aspect luxuriant des cultures qui ceinturent les villages.

L'importance des déchets animaux pour l'amélioration des techniques de production végétale, perçu comme thème essentiel de la vulgarisation agricole en Haute-Volta, se manifeste actuellement par la tentative de généralisation des fosses fumières.

Les grandes villes sont aussi des sources importantes de déchets animaux. La ville de Ouagadougou produit chaque jour 2,5t de déchets secs provenant de l'abattage d'une moyenne de 80 bovidés, 600 ovins et caprins, 10 porcins, 4 chevaux et 5 dromadaires. Les cornes et les os ne sont pas utilisés. Le sang (120 l/jour en moyenne) est employé pour les besoins du Centre avicole de Ouagadougou.

B. Déchets végétaux

La culture itinérante n'a pas permis le développement de l'utilisation traditionnelle de déchets végétaux. Autrefois les chaumes étaient abandonnées sur le champs après prélèvement des besoins pour les menus travaux agricoles et la consommation des animaux. Au début de l'hivernage, cette paille était enlevée pour préparer le semis. La pénurie croissante de combustible à usage domestique a accéléré cette utilisation de la chaume qui n'est donc plus utilisée, même partiellement, comme matière organique sur les sols.

La recherche agronomique, face à cette situation préjudiciable à la fertilité des sols, a mis au point un programme de recherche tendant à cerner le problème de l'utilisation de la paille de céréales, dont la production nationale (mil, sorgho, maïs, riz) approche 1,2 million de tonnes. L'état actuel de la recherche permet de conclure que le problème des moyens d'enfouissement de la paille est difficile à résoudre mais que la période la plus favorable pour pratiquer cette opération se situerait en fin d'hiver-nage pour permettre une décomposition efficace.

Autres sources (agro-industrie essentiellement):

- (i) graines de coton - environ 4.700 tonnes par an (pour une production de coton graine de 77.520 tonnes en 1979/1980). La moitié environ est utilisée pour l'alimentation des animaux. Le reste est vendu aux agriculteurs 4 F.CFA/kg + 2 F le sac pour un transport de 25 F/t/km.
- (ii) paille et son de riz - ces matières prennent de plus en plus d'importance avec l'installation des grands projets rizicoles favorables à la concentration des matières organiques et offrent des possibilités d'application directe et de compostage substantielles.
- (iii) son de blé - environ 4.200 tonnes/an à partir des Grands Moulins de Banfora. Utilisé exclusivement pour l'alimentation animale.
- (iv) tourteaux de l'huilerie de la CITEC - production estimée à 500 tonnes/an; vendus 30 F.CFA/kg pour l'alimentation du bétail exclusivement.
- (v) mélasse de la SOSUHV - 10.000 tonnes/an pour une production de canne à sucre de 28.000 tonnes environ; vendue 6 F.CFA/kg pour l'alimentation du bétail. L'utilisation d'autres déchets pour l'amélioration du sol peut être envisagée.
- (vi) drèches des brasseries - 10 t/jour à Ouagadougou et 10 t/jour à Bobo-Dioulasso; vendues 5 F.CFA/kg pour l'alimentation du bétail.
- (vii) Divers. Déchets des cultures fruitière et maraîchère; volume difficile à évaluer parce que peu concentrées sauf à l'usine de transformation de jus de fruits à Bobo-Dioulasso.

C. Engrais vert

Traditionnellement les longues jachères permettaient l'amélioration des terres en matières organiques. Avec la diminution progressive du temps de jachère et sa quasi-disparition dans les zones très peuplées du plateau Mossi, la recherche agronomique tente l'introduction de la culture de l'engrais vert dans les rotations pour éviter la dégradation des sols par la perte totale de matières organiques. Cette technique se heurte pourtant à des contraintes de calendrier de culture et aux moyens dont dispose le paysan pour assurer la conduite des travaux.

D. Ordures municipales et déchets industriels

Plusieurs projets ont été étudiés; le dernier mené est actuellement soumis à un financement et prévoit une production de 15.000 tonnes/an de compost dans les deux principales villes de Haute Volta : Ouagadougou et Bobo-Dioulasso.

ex : Ouagadougou : 256.000 habitants
0,5 kg d'ordures ménagères par habitant/par jour
128 tonnes par jour
46.700 tonnes par an.

Une usine de 15.000 tonnes de compost demanderait 10 tonnes/heure, soit 25.000 tonnes/an d'ordures ménagères.

L'échec des différentes tentatives et la difficulté de réalisation à laquelle le présent projet risque de se heurter résultent de leur rentabilité incertaine. Le compost devrait en effet se vendre au moins à la moitié du coût de production actuel pour intéresser, dans un premier temps, le maraicher : 1.500 F.CFA la tonne au lieu de 3.728 F.CFA. Des subventions à un niveau ou à un autre sont donc nécessaires. La subvention de l'électricité est par exemple souhaitable pour justifier l'opération.

II. FIXATION BIOLOGIQUE DE L'AZOTE

A. Légumineuses

Il n'existe pas encore un grand projet en Haute-Volta pour ce volet essentiel dans la recherche des solutions pour améliorer les sols. Ce problème est perçu avec toute son importance. Les raisons du blocage ont été invoquées un peu plus haut : contraintes du calendrier cultural, moyens insuffisants dont dispose le paysan pour faire face à cette technique et, à la limite maîtrise des souches valables de rhizobium pour s'assurer une fixation symbiotique efficace.

B. Plantes non légumineuses

Pour mémoire un programme de recherche existe à l'état embryonnaire.

III. ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES

A. Déchets animaux

La difficulté de leur utilisation est due, pour une grande part, à la dispersion des déchets, qui rend la collecte difficile. L'utilisation des déchets est liée étroitement à l'existence de moyens de transport dans le système séparé de production végétale et animale. Il est indispensable de passer rapidement à une vraie intégration agriculture-élevage. La stabulation se heurte aux habitudes sociales de l'agriculteur et surtout à la difficulté de pourvoir à l'alimentation du bétail en saison sèche (6 mois à 8 mois suivant les zones du pays). Dans les régions les plus arrosées

(zone Sud), la trypanosomiase animale est un handicap pour l'élevage traditionnel. Un vaste programme régional de lutte contre cette maladie permettra d'y ouvrir des perspectives intéressantes.

B. Déchets végétaux

Quantitativement très importants: La production totale en céréales (mil, maïs, sorgho) de la Haute-Volta est de près de 1,2 millions/t/an.

Pour les cultures traditionnelles les plus importantes les rendements en paille sont :

	Sorgho	Mil
grain	630 kg/ha	700 kg/ha
paille	5.380 kg/ha	3.949 kg/ha

Dans un système de production ne faisant pas intervenir systématiquement le brûlis ou l'enlèvement total pour l'utilisation comme bois de chauffe, la matière organique disponible permet d'améliorer le statut de la matière organique, mais son utilisation pose des problèmes techniques à travers l'incidence socio-économique.

En dehors du brûlis, deux voies existent :

- enfouissement direct
- enfouissement après compostage dans les fosses fumières

La première méthode n'est pas toujours possible (surtout dans la partie Nord du pays) car l'état du sol après la récolte des principales cultures (mil, sorgho) ne permet pas d'y procéder. La deuxième voie, celui de la fosse fumière, pose comme préalable la stabulation des animaux du paysan, ce qui entraîne l'assurance de la nourriture pendant la saison sèche, très difficile même si le paysan est acquis à cette idée, comme par exemple dans une zone pilote de l'AVV (Aménagement des Vallées des Volta).

La production de foin, calculée sur près de 4 ha de culture (mil, sorgho, maïs (2 ha), niébé, arachide) et 2,5 ha de jachère pour une unité familiale moyenne de 4 personnes actives, est de 9,1 tonnes. En considérant qu'une paire de boeufs exige 8 tonnes de fourrage sec par an, une telle exploitation familiale ne peut entretenir que difficilement (laissant même de côté les différentes contraintes de la mobilisation de cette paille) une paire de boeufs. La culture fourragère systématique est donc indispensable pour assurer la nutrition des animaux, où le faible revenu du paysan, dû aux faibles rendements et aux prix d'achat au producteur peu rémunérateurs, ne lui permet pas d'acquérir les moyens suffisants pour faire face à cette nouvelle technique. Ces différentes contraintes montrent la complexité du problème qui englobe tous les aspects fondamentaux du développement, à commencer par la réforme agraire, le système de crédit agricole...

M A L I

par

M. KANTE

I. METHODES TRADITIONNELLES ET MODERNES D'UTILISATION DES MATIERES ORGANIQUES DANS L'AGRICULTURE MALIENNE

A. Déchets animaux

Traditionnellement, la fumure organique à base de déchets animaux est obtenue essentiellement à partir du parcage. Constituant l'une des techniques de fertilisation les plus courantes, elle est cependant conditionnée dans le temps par la présence d'éleveurs (peulhs ou agriculteurs sédentaires) dans les zones agricoles intéressées en transhumance vers les sources d'eau intarissables. Elle est généralement pratiquée sur les champs nouvellement récoltés.

Le processus d'implantation consiste à installer progressivement plusieurs parcs dans le même champ, leur nombre variant suivant l'importance du champ et du troupeau. Les animaux, qui sont en général parqués la nuit, utilisent les débris de récoltes fraîches et demeurent sous la bonne surveillance des éleveurs ou des peulhs. Les champs ainsi fumés ne font l'objet d'aucune autre opération d'entretien avant le semis, et le fumier qui reste ainsi exposé à l'action de facteurs climatiques (insolation, pluies, vents) accuse dans la plupart des cas une forte dégradation (lessivage, dessèchement, dénitrification...).

Dans les zones où l'élevage n'est pas très important les champs reçoivent, d'une manière irrégulière, des déjections animales issues de la divagation des animaux.

En revanche, dans les fermes agricoles d'Etat et les centres de recherche zootechnique et d'embouche paysanne, des étables, voire des ranchs fournissent une fumure organique à base de déchets animaux (bovins, ovins, volailles, porcins...) généralement utilisés à la fertilisation de leurs sols de culture ou leurs prairies.

En dehors des déchets animaux, il convient de souligner l'importance du rôle que les excréments humains pourrait jouer dans la fertilisation et l'amendement des sols. Cependant, à cause des précautions, leur utilisation dans l'agriculture malienne reste très limitée.

Par ailleurs, le système de latrines à compost est pratiqué en milieu rural. Deux séries de latrines sont utilisées par alternance: les pleines sont fermées, et les processus de décomposition y continuent et se terminent, lorsque la deuxième série est en exploitation. Ainsi lorsque cette dernière est pleine la première série est ouverte et le compost est prêt pour l'amendement des champs.

B. Déchets végétaux

L'utilisation par les paysans des résidus de récolte dans la fertilisation des sols remonte loin dans le temps. Deux méthodes d'utilisation des pailles et chaumes existaient mais ne sont plus courantes :

- l'enfouissement lors des travaux de préparation de sols, en général au buttage. Les pailles et chaumes ainsi enfouies se décomposent progressivement avant les semis de la campagne suivante;
- le brûlis, qui consiste à brûler les résidus de récolte et à épandre sur le sol la cendre, qui constitue une source d'éléments fertilisants.

De plus en plus, en revanche, les Opérations de Développement Rural vulgarisent le compostage à l'aide de débris végétaux et animaux. Ce mode de préparation du fumier est en général adapté aux possibilités des paysans par le simple fait qu'il ne pose aucun problème d'ordre financier. Le processus de fabrication de cette fumure organique est le suivant :

Les villageois pratiquent, à proximité des puits ou d'autres sources d'eau, des fosses fumières dont les dimensions varient dans les limites de 3 à 6 m de long, 1 à 2 m de large, et 0,5 à 1 m de profondeur. Elles sont remplies principalement d'ordures et de matières végétales (tiges de mil, herbes fraîches ou sèches...)

La constitution des fosses, qui avait lieu essentiellement pendant la saison sèche, est actuellement effectuée davantage en hivernage dans le but de bénéficier des eaux de pluie et ainsi de minimiser les problèmes d'arrosage. En effet, les fosses une fois remplies doivent faire l'objet d'un arrosage régulier afin d'assurer une bonne humidification, et en saison sèche le problème de l'eau se pose de façon aiguë. Une politique d'utilisation rationnelle de l'eau a donc été adoptée, qui consiste à faire bénéficier les fosses des eaux de ménage et de toilettes. Ce procédé permet de résoudre en partie le problème, mais il faut constater que les arrosages irréguliers ou peu abondants empêchent la décomposition parfaite des matières organiques.

L'enlèvement du compost se fait par tranches verticales dans le but d'assurer l'homogénéité du mélange. Il est ensuite transporté au moyen de charrettes ou de paniers et épandu sur les champs tel quel : d'abord en petits tas régulièrement espacés, ensuite éparpillé uniformément pour être enfin enfoui par les labours.

C. Déchets organiques (Mulch)

Le mulching n'est pas généralisé au Mali. On le rencontre surtout en arboriculture fruitière.

D. Engrais vert

Comme pour les mulchs, l'utilisation des engrais verts dans les rotations culturales en est à ses débuts. Son évolution est certainement liée à l'équipement des paysans en matériels agricoles pouvant assurer le fauchage, le

broyage, l'enfouissement... Déjà pourtant certaines espèces végétales exigeant moins d'interventions commencent à être utilisés (niébé, vigna, riz sauvage).

E. Ordures municipales et déchets industriels

L'approvisionnement en engrais organiques est également assuré par les ordures municipales et les déchets industriels, qui couvrent une gamme variée de produits, notamment :

- les détritrus de toute nature provenant de l'activité quotidienne des ménages;
- les déchets commerciaux et industriels (résidus de restaurants, déversement de marchés) sous réserve de l'agrément de l'administration;
- tous les produits provenant du nettoyage des places et voies publiques, des parcs et jardins;
- les produits du nettoyage et détritrus des foires, halles et marchés;
- les ordures collectées soit au niveau familial (ordures ménagères), soit de l'agglomération dans des dépôts fixes ou mobiles.

Parmi les systèmes d'élimination des ordures municipales, le compostage revêt aux yeux du paysan une importance primordiale et il est actuellement le seul procédé permettant le recyclage des matières organiques. Selon la taille de la localité à desservir, les méthodes de compostage diffèrent. Ainsi, pour les villages et les petites villes tous les travaux se font manuellement, tandis que dans les villes importantes la mécanisation doit être poussée très loin.

L'utilisation des sous-produits agro-industriels du genre tourteaux (arachide, coton, mélasse...) constitue également un facteur très important de fertilisation des sols au Mali.

II. ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES DU RECYCLAGE DES MATIERES ORGANIQUES

De nos jours, et de plus en plus, l'urbanisation grandissante, l'augmentation du niveau de vie et l'avènement de la société de consommation (avec ses emballages perdus) accroissent considérablement la production de déchets et rendent nécessaires des mesures spéciales propres à les éliminer dans des conditions d'hygiène satisfaisante. La valorisation de la personne humaine est entièrement dépendante d'une détente qui provient d'un bon état de santé dans un milieu sain.

Au plan économique, il est clair que les méthodes pratiques et simples d'obtention de la fumure organique mettent le paysan dans une certaine mesure à l'abri des conséquences de l'inflation galopante actuelle. En effet, en se procurant lui-même une quantité importante de matières organiques utiles, il peut diminuer la quantité d'engrais minéraux qu'il doit acheter, tout en

escomptant une production élevée. Il convient de souligner que depuis près d'une décennie le prix des matériels agricoles et celui des intrants ne cessent d'augmenter d'année en année.

III. PLAN DE DEVELOPPEMENT DU RECYCLAGE DES MATIERES ORGANIQUES AU MALI

A. Recherche

Depuis quelques années le Mali est frappé, à l'instar des autres pays du Sahel, par la sécheresse. Face à cette situation, la recherche agronomique s'est fixée un certain nombre d'objectifs pour améliorer la productivité des cultures vivrières, parmi lesquels la fertilisation des sols par de la matière organique afin de réduire l'impact des coûts des engrais minéraux, dont les prix ne cessent d'augmenter.

C'est ainsi que l'étude du rôle spécifique de la matière organique apportée sous forme de résidus de récoltes (pailles de riz, tiges de mil) dans la fertilité des sols tropicaux a été initiée en 1972. Ces résidus ont d'abord été broyés (pailles de riz à Kogoni) ou sectionnés en morceaux de 5 cm environ (tiges de mil au Séno). L'enfouissement a été effectué par un labour à la charrue à soc tiré par des boeufs.

L'essai a été conduit de 1972 à 1977, sous la forme d'un essai factoriel à 5 doses d'azote et 2 doses de paille (0 à 10 tonnes/ha).

De cette étude, il est apparu que la matière organique apportée sous la forme non évoluée (tiges de mil, pailles de riz) a un effet dépressif la première année de son enfouissement, d'autant moins accentué que l'alimentation en eau de la plante est satisfaisante et que les applications d'une fumure d'azotée sont élevées. Par la suite on constate une grande efficacité de l'enfouissement des pailles pour augmenter les rendements du riz.

En 1978, on a maintenu la fertilisation azotée au même niveau et on a enfoui les pailles produites sur chaque parcelle. Les résultats, bien que provisoires, montrent:

- des rendements modestes pour la variété de riz IR8 à Kogoni
- des rendements améliorés en maïs et coton à Samanko (4,34 t/ha et 2,16 t/ha)
- d'excellents rendements sur arachides à Kita (2,68 t/ha)

Par ailleurs on initiera très prochainement une étude sur la production de biogaz à partir des résidus organiques par fermentation méthanique. Une documentation a été rassemblée à ce sujet et une équipe de chercheurs a déjà visité les installations de la station de Saria (Haute Volta), où l'on utilise des résidus de récoltes très ligneux, avec peu de fumier.

B. Vulgarisation et formation

En attendant la confirmation des résultats des recherches en cours, les efforts de vulgarisation au Mali sont axés sur :

- la sensibilisation des paysans à l'importance des matières organiques dans la fertilité des sols, donc dans l'augmentation de la productivité;
- le parage systématique des animaux, pour éviter leur divagation et pour produire ainsi du fumier sur place;
- la confection des fosses fumières pour la production des composts;
- la pratique du labour de fin de cycle, si possible, pour enfouir à temps les résidus des récoltes;
- le respect du calendrier agricole, exigeant une période adéquate d'épandage du fumier destiné à être incorporé au sol par les labours de début de cycle;
- l'emploi dans les rotations non seulement des légumineuses fixatrices d'azote mais aussi d'espèces végétales en qualité d'engrais verts.

N I G E R

par

Ibrahim OUMAROU

I. GENERALITES

Au Niger les sols sont, dans leur grande majorité, épuisés, peu profonds et pauvres en humus. Ils sont fragiles physiquement (érosion), chimiquement (croûtes dures d'oxydes de fer et de sel) et agronomiquement (épuisement rapide). Elles présentent une couche arable surtout sableuse.

II. METHODES TRADITIONNELLES ET MODERNES D'UTILISATION DES MATIERES ORGANIQUES EN AGRICULTURE

A. Déchets animaux

Au Niger, l'apport du fumier dans les champs est une pratique traditionnelle assez répandue, mais seuls les champs autour du village en bénéficient. Cette fumure, sous forme de déjections d'animaux (le petit élevage et animaux d'embouche), de déchets domestiques et de cendres est rassemblée en tas et transportée à tête ou à dos d'âne dans les champs. L'utilisation récente de la charrette facilite le transport.

Les sols situés autour des villages et recevant ces importantes fumures voient leurs caractéristiques très nettement améliorées, ainsi que le démontre cette analyse pratiquée sur un même sol au nord de Maradi (centre du Niger):

	Sols sans apport de fumier	Sols autour des villages
Teneur en matières organiques (%)	0,30-	0,60
Teneur en phosphore (ppm)	50-60	80+
Capacité d'échange (me/100)	1,1	1,5
Taux de saturation (%)	80	80-
pH	6,0	6,3+

Cet enrichissement de sol permet des cultures continues, quelquefois depuis 60 ans, sans signe apparent de fatigue des sols. Mais l'application sur une grande échelle de ces déchets animaux est limitée par leur disponibilité. En effet, la recherche préconise l'épandage de 10 t/ha de fumier, quantité pratiquement introuvable au niveau d'une exploitation paysanne. C'est pourquoi seuls les champs autour des cases bénéficient de cette fumure, l'épandage se faisant en petits tas dispersés dans les champs.

Les champs éloignés du village ne bénéficient de déjections d'animaux que dans le cadre d'un contrat agriculteur/éleveur, celui-ci acceptant, moyennant un paiement en nature ou en espèces, de parquer ses animaux pendant la saison sèche et pour une durée déterminée, dans les champs de l'agriculteur.

B. Ordures municipales et déchets industriels

Au Niger il n'y a aucune usine de transformation ou de compostage de ces déchets.

Les ordures municipales sont employées à l'état brut par quelques particuliers autour des gros centres (Niamey principalement). Des riverains enfouissent des coques d'arachide provenant des usines de décorticage (4 usines au total). Cette pratique donne parfois des résultats intéressants. En Kawara, sur un sol battant de banquettes anti-érosives, 6 tonnes de coques d'arachide se sont révélées aussi efficaces que 12 tonnes de fumier sur une culture de mil (IRAT Bilan de 10 ans, septembre 1970).

III. FIXATION BIOLOGIQUE DE L'AZOTE

Nous traiterons ici des rotations et associations des cultures pratiquées à titre expérimental par les organismes de recherche pendant les dix dernières années.

Un certain nombre de résultats se sont dégagés à ce jour:

- (i) La succession sorgho/sorgho est à déconseiller.
- (ii) Après jachère en culture non fumée la succession mil/arachide est préférable, mais avec une fumure azotée sur mil il est vraisemblable que la succession mil/arachide donne de meilleurs résultats.
- (iii) La culture associée mil/arachide a été étudiée sur le plan économique: 2 ha de cultures en association ont été comparés à 2 ha de monoculture (1 ha de mil + 1 ha d'arachide). Si la production du mil était invariée dans les deux modes de cultures, en revanche, l'association a fait augmenter le rendement en arachide de 15%.

En 1978 on a étudié les effets de la rotation mil-légumineuse sur les sols, obtenant les résultats suivants:

Système de rotation		1978	Analyse du sol 1/		
1976	1977		% OM	% N	P (ppm)
Légumineuse	Mil	Mil	0,064	0,04	103
Jachère	Légumineuse	Mil	0,057	0,04	91
Légumineuse	Légumineuse	Mil	0,076	0,11	115
Légumineuse	Sorgho	Légumineuse	0,098	0,11	151
Jachère	Jachère	Légumineuse (local)	0,089	0,07	118

L'action améliorante des légumineuses sur les rendements est très marquée:

- 1) mil après mil sans légumineuse : 128 kg/ha
- 2) mil après une année de légumineuse: 330 kg/ha
- 3) mil après 2 années de légumineuse: 880 kg/ha.

IV. PLAN DE DEVELOPPEMENT DU RECYCLAGE DES MATIERES ORGANIQUES DANS LE PAYS

A. Recherche

Les conclusions suivantes sont basées sur les expériences commencées par l'IRAT et poursuivies par l'INRAN (Institut National de Recherche Agronomique au Niger).

On peut augmenter les rendements de 300 à 450 kg/ha sur les sols pauvres grâce à une simple amélioration des pratiques, et à 750 kg/ha en améliorant les pratiques en même temps qu'on utilise les engrais. Est recommandé l'utilisation de 75 unités de P₂O₅ comme phosphate de fond tous les 6 ans, avec une fumure d'entretien annuelle de 20 unités épanchée avant semis.

Lorsque l'azote est appliquée en deux fois, c'est-à-dire au premier et au second sarclage, on remarque que les rendements de mil et sorgho augmentent avec des applications allant jusqu'à 90 unité de N/ha, mais la courbe de réponse commence à se niveler après 60 unités de N/ha. Il semble que 45-50 unités offrent les meilleurs résultats sur le plan économique.

L'engrais K n'a pas d'effet sur les sols sableux, ce qui est probablement vrai pour tous les sols micacés du Niger.

B. Vulgarisation et formation

Au Niger, l'autosuffisance alimentaire constitue la priorité des priorités. Pour atteindre cet objectif l'Etat a mis en place sur toute l'étendue du territoire des projets agricoles qui mettent l'accent sur l'augmentation de la productivité. Ces projets, outre qu'ils ont pour mission de mettre à la disposition des agriculteurs des facteurs de production (engrais, pesticides, matériel agricole) visent également à les amener à adopter des techniques améliorées.

Ainsi un plan d'assolement (2/3 céréales et 1/3 légumineuses) est mis en place sur toutes les zones touchées par le projet.

Sur les sols pauvres, un vaste programme de redressement des sols à base de phosphate naturel est en cours.

Sur le plan familial, le programme d'embouche paysanne encourage la confection de fosses fumières afin de récupérer les déjections et les déchets alimentaires.

IV. CONCLUSION

Les résultats obtenus par la recherche démontrent l'importance capitale des matières organiques pour l'augmentation des rendements. Si leur utilisation est connue et appréciée traditionnellement, la pratique est limitée par leurs disponibilités. Aussi fait-on appel aux engrais chimiques qui augmentent sensiblement les rendements mais n'améliorent guère la structure des sols qui sont en majorité sableux, peu profonds et pauvres en humus.

R W A N D A

I. METHODE TRADITIONNELLE

Avant les années 1950, l'utilisation des matières organiques n'était pas répandue au Rwanda car le besoin ne se faisait pas encore sentir. Dans quelques régions du pays seulement on épandait un peu de déchets animaux et végétaux et on les laissait se décomposer sur la surface du sol jusqu'aux labours suivants.

La disponibilité des terres cultivables permettait aux agriculteurs rwandais de pratiquer plutôt les jachères naturelles, mais la fertilité des sols se dégradait.

II. METHODES MODERNES

A. Compostage

L'utilisation du compost est de plus en plus répandue au Rwanda. Son emploi est plus facile que celui du fumier, car il ne nécessite pas de bétail. La compostière moyenne est longue de 2 m, large de 1 m et profonde de 1 m. Le nombre de compostières par agriculteur est proportionnel à la quantité de déchets dont il dispose.

Tous les six mois, c'est-à-dire au moment des labours de chaque saison culturale, l'agriculteur d'une ferme moyenne de 1 ha 50 retire de ses compostières 3-4 tonnes de compost.

B. Paillage

Les pailles de sorgho et maïs, ainsi que les hautes herbes des prairies, sont employées comme paillis des caféiers. Cette pratique, rendue obligatoire depuis 1935, donne de bons résultats.

C. Engrais verts

Actuellement ils sont encore très peu utilisés en agriculture rwandaise car les paysans ne voient pas encore clairement l'intérêt de cultiver une plante qui ne leur rapporte rien directement, mais actuellement le Service de vulgarisation agricole insiste beaucoup sur l'introduction des engrais verts dans la rotation des cultures, à la place de jachères naturelles.

Les principales cultures employées comme engrais verts au Rwanda sont le mucuna, la luzerne, le desmodium et la vesce dans les régions de plus de 1.800 mètres d'altitude.

D. Déchets animaux

1. Motivation : La surexploitation des terres cultivables causée par la pression démographique (croissance au rythme de 2,6 % par an) et l'épuisement du sol ont déterminé le gouvernement rwandais à prendre en 1974 la décision de faire associer l'élevage à l'agriculture en vue d'obtenir du fumier de haute valeur afin d'améliorer la fertilité du sol et d'augmenter son rendement.

La satisfaction des besoins alimentaires de la population, premier objectif du Deuxième plan quinquennal 1977 - 1981, est un impératif qui découle de la nécessité de faire face à l'insuffisance de la production vivrière consécutive à la raréfaction des terres cultivables et à la faible production de l'agriculture.

2. Fertilité du sol avec gros bétail (vache)

L'Institut des sciences agronomiques du Rwanda ayant démontré que le moyen le plus sûr d'améliorer l'agriculture est de l'associer à l'élevage de la vache, il ne reste que de préciser les besoins de cette vache, ses possibilités de production et les modifications de l'organisation de l'exploitation agricole d'accueil que son introduction exige.

- a) Il est conseillé au paysan moyen (exploitation de 1 ha 50) de ne posséder qu'une vache et son veau, un plus grand nombre ne pouvant être alimenté correctement tout en maintenant des cultures vivrières. La vache et son veau doivent être mis en stabulation permanente et nourris dans l'étable.
- b) Alimentation : - comme la vache vèle en moyenne tous les 15 mois, il faut prévoir une moyenne de 42 kgs de fourrage par jour pour la mère et 1 à 18 kgs pour son veau selon son âge, soit un total maximum de 60 kgs par jour.
- c) Modifications à apporter à une exploitation destinée à entretenir une vache et son veau :
 - installation d'une étable, d'une fumière et d'une citerne à eau
 - réduction de la surface affectée aux cultures vivrières au profit de cultures fourragères. Une surface de 30 ares est nécessaire pour assurer une production fourragère totale annuelle de 20 tonnes et les six tonnes exigées par le système anti-érosif (production de litière comprise : 2 tonnes).
- d) Passage de la ferme agricole à la ferme avec vache :
Les petits propriétaires sans bovins ne sont pas condamnés à disparaître. Pour eux aussi il existe une solution: le petit élevage (moutons et chèvres). Il est conseillé de commencer par le mouton, qui supporte très bien la stabulation permanente.

Une brebis de 25 à 30 kgs consomme 5 à 6 kgs de setaria par jour, environ 2 tonnes par an. Deux fois par an elle met bas un à deux jeunes. Elle produit 600 kgs de fumier.

Le système anti-érosif de l'exploitation peut à lui seul nourrir convenablement deux brebis toute l'année, ainsi que leurs jeunes jusqu'à l'âge de 6 mois. Grâce à ces moutons, le paysan pourra en 2 à 3 ans économiser suffisamment d'argent pour acheter une génisse. Entre temps, son compost aura été enrichi de 1,5 tonnes de fumier.

T O G O (LOME ET ENVIRONS)

par

R. Assogbavi SOSSOU

I. INTRODUCTION

Le maraîchage à Lomé et dans ses environs a pour vocation essentielle d'approvisionner en légumes locaux et européens la ville qui, de 300.000 habitants en 1977, a atteint 366.791 habitants en 1980 avec un taux d'accroissement moyen de 6,93 % par an. La production est assurée par 180 maraîchers installés sur des terrains à bâtir de la zone urbaine, et par 92 producteurs du périmètre de regroupement d'Agoenyivé, situé à 15 km de Lomé sur la route Lomé-Tsévié. En outre, il existe des cultures villageoises de bas-fond, qui ne concernent généralement que des légumes locaux.

Les producteurs exploitent 8 à 20 ares en moyenne, à l'aide d'une main-d'oeuvre familiale ou salariée. Le maraîchage représente leur activité principale et, grâce à une bonne technicité, ils arrivent, malgré des conditions climatiques difficiles, à produire des légumes de qualité. La majorité des sols exploités manquent de matières organiques, sans lesquelles toute production maraîchère périclité. Malheureusement, la région Maritime n'est pas une zone d'élevage, et jusqu'à présent ce problème n'a pu être partiellement résolu que par l'utilisation des gadoues urbaines. Pour comble, la récente création de la Société togolaise d'enlèvement des ordures ménagères (SOTOEMA) tend à rendre de plus en plus difficile l'obtention de ces dernières par les maraîchers.

II. EMPLOI DES MATIERES ORGANIQUES

A. La gadoue

Les maraîchers installés en zone urbaine où la végétation est inexistante ne peuvent pas préparer le compost. Leur principale source de matières organiques est la gadoue, utilisée soit très décomposée ou fraîche (mi-décomposée), Elle provient des tas d'ordures ménagères jetées sur des dépotoirs disséminés dans les quartiers de la capitale et dans les agglomérations environnantes. Le transport est assuré d'une part par un camion du PRODERMA (Projet de développement rural de la région maritime) et d'autre part par les remorques de la voirie de Lomé. La gadoue est payée; elle a l'avantage de libérer progressivement les éléments nutritifs, et son action se poursuit sur la culture suivante. Son utilisation demande beaucoup moins de travail que la fabrication du compost.

Cette gadoue est épanchée en vrac à la surface du sol à raison de 3 à 4 brouettes par planche de 12 m² et enfouie grossièrement. Après quelques semaines, au cours d'un nouveau labour plus fin, les déchets imputrescibles (tessons de bouteille, chiffons, matières plastiques, boîtes de conserves... sont enlevés et le terrain ainsi préparé est prêt à recevoir la culture.

B. Le fumier

Par ordre d'importance, le fumier est la deuxième source de matières organiques utilisée par les maraîchers pour enrichir leur terrain. Ce fumier n'est pas obtenu par la décomposition d'excréments d'animaux mélangés aux déchets végétaux mais consiste seulement en bouse de vaches (poudrette),

l'excréma de porcs, l'excréta de moutons et de chèvres, les déchets d'abattoir, la fiente de volaille et de chauve-souris. Généralement ramassé dans les parcs à boeufs, dans les enclos des éleveurs de petits ruminants, de porcs, de volailles et sur les plafonds pour les chauve-souris, il n'est pas gratuit mais est payé assez cher, à des prix extrêmement variables. Par souci d'économie les maraichers utilisent 1 à 2 brouettes par planche.

C. Le compost

Cette importante source de matières organiques est peu utilisée, tant du fait qu'il exige un travail fastidieux qu'à cause de la lenteur de la décomposition (plus ou moins 6 mois). Les maraichers n'en voient pas les résultats immédiats.

A titre expérimental, la Division maraîchage, qui pratique la cuniculture au Centre d'appui technique du périmètre irrigué d'Agoenyivé, prépare du compost avec les déchets des récoltes et des mauvaises herbes provenant de l'entretien des planches. Utilisé pour la production de la laitue pendant la grande saison sèche, ce compost a donné d'excellents résultats.

D. La drèche de bière

L'utilisation en maraîchage de la drèche de bière est très récente. La Brasserie du Bénin dépose sa drèche dans un grand trou situé à proximité du Centre maraîcher d'Agoenyivé. Très riche en azote, elle a été utilisée par quelques maraichers pour fertiliser leurs planches et ils ont constaté de bons résultats. Très vite donc cette utilisation s'est généralisée à presque tous les maraichers. Cependant il est indispensable de l'enfouir entre quatre et six semaines avant les semailles, et cet inconvénient décourage dans une certaine mesure son utilisation.

E. Les eaux usées de brasserie

Une brasserie importante évacue vers Agoenyivé, non loin du Centre maraîcher, dans la nature, 360 à 380 m³ d'eaux usées par jour. La Division maraîchage a effectué des essais d'irrigation pendant deux ans sur des cultures légumières en vue de récupérer cette eau pendant les grandes saisons sèches. L'expérience a démontré que cette utilisation est possible, le mélange 1/2 eau naturelle et 1/2 eaux usées ayant donné des résultats intéressants. Reste à mettre au point un système de mélange des eaux dans la bêche d'aspiration avant leur utilisation.

III. CONCLUSION

Diverses sources de matières organiques existantes ne sont toujours pas accessibles aux maraichers. Actuellement, des milliers de tonnes d'ordures ménagères ramassées par la SOTOEMA servent à boucher de grands trous qui existent çà et là dans la capitale; souvent les excréments sont jetés dans la mer. Le problème de la matière organique pourrait être résolu par l'implantation d'une usine de traitement de ces ordures. Il est souhaitable qu'une étude préalable détermine la quantité de matière finie que peuvent

consommer les maraîchers, les agriculteurs et les fleuristes (parcs et jardins) en même temps que la rentabilité de l'opération.

Une campagne de sensibilisation pourrait amener les exploitants (maraîchers et agriculteurs) à fabriquer eux-mêmes leur compost avec les résidus des récoltes, les mauvaises herbes, les graines de coton et de kapok qu'ils enrichiront avec les excréments des animaux. Là où la culture du stylosanthès est possible, il serait bon de recommander son utilisation dans le compostage.

Z A I R E

par

KAROTSO KAKULE

I. UTILISATION DES MATIERES ORGANIQUES EN AGRICULTURE AU ZAIRE

A. Méthodes traditionnelles

Les méthodes d'utilisation de la matière organique varient d'une région à l'autre. Ces méthodes découlent des usages régionaux, eux-mêmes en relation avec les conditions écologiques locales.

a) Utilisation des déchets animaux

Elle n'est pas d'usage courante en agriculture paysanne, sauf dans certaines régions de savane où l'élevage est pratiqué. En régions de forêt, l'élevage est peu connu.

En régions de savane et d'altitude, les déchets animaux sont utilisés par les paysans surtout en culture maraîchère. Certains maraîchers (surtout à l'est du pays) pratiquent en même temps le petit élevage. Souvent formés dans des fermes-écoles, ils comprennent bien la nécessité d'utiliser le fumier animal en agriculture.

Dans les régions à population dense où les surfaces cultivables sont de plus en plus rares et l'exploitation intensive des terres exigée, les agriculteurs sont en même temps éleveurs. Ici, lors des nettoyages de locaux (étables, porcheries, clapiers, poulaillers), les déchets sont collectés et stockés en tas à proximité du jardin pendant une ou deux semaines pour s'égoutter. De ces tas, le fumier est épandu au champ pour être enfoui au labour.

Dans les régions de sols pauvres (comme au sud-ouest du pays) et d'élevage de gros bétail, les agriculteurs utilisent aussi le fumier. Les bêtes sont gardées dans des kraals où les cultivateurs viennent ramasser le fumier qu'ils transportent sur la tête ou sur le dos, dans des paniers, jusqu'au champ où il est utilisé. Cette méthode est fastidieuse du fait des longues distances entre le champ et le kraal. Introduite par les agronomes coloniaux, cette pratique a donc été abandonnée par les cultivateurs dans les régions où il n'y a aucune raison impérieuse de la poursuivre.

Autour des centres importants où il existe des abattoirs ou des boucheries, les déchets des animaux abattus sont aussi récupérés pour être utilisés en agriculture. C'est le cas à Kinshasa, où l'abattoir est situé non loin du centre maraîcher de Ndjili. Ces déchets sont évacués par un égout pour être collectés dans une fosse, d'où ils sont récupérés par les maraîchers.

En pisciculture, les fumiers de volaille et de porcs sont de bons engrais s'ils ne contiennent pas trop de pailles et matières ligneuses. Beaucoup de fermes pratiquant la pisciculture intensive, autour de Kinshasa, ont obtenu de bons résultats (2,5 t/ha) en utilisant ce fumier en raison de 1/2 à 1 brouette par are tous les 15 jours. Cependant, les paysans pisciculteurs encadrés par le Projet maraîchage et pisciculture de Kinshasa n'ont jamais accepté cette technique, non pas qu'ils trouvent répugnants les déchets de porcs et de volaille mais plutôt le poisson nourri avec cette matière.

Les grandes plantations et fermes utilisent de grandes quantités de fumier animal, souvent mélangé au compost pour l'enrichir.

b) Les déchets végétaux

Les méthodes d'utilisation des déchets végétaux découlent des usages régionaux, eux-mêmes en relation avec les conditions écologiques locales. Dans certaines régions de savane, l'opération de défrichage porte sur l'enlèvement du tapis herbacé. Seules les herbes fortement lignifiées sont coupées et brûlées; les autres graminées ou plantes herbacées sont incorporées au sol par labour à la houe. Dans d'autres régions, un brûlis général précède le labour.

Paille, chaume

Le chaume de haricot est récupéré pour servir de litière pour petit bétail. Pour la fabrication du fumier, ce chaume peut être entassé et être utilisé après décomposition.

Le blé est cultivé en région de montagne et précède la culture des haricots. Après la récolte, on procède immédiatement au défrichage. La paille est rassemblée en petits tas pour être brûlée, la cendre étant répandue sur le terrain pour servir d'engrais.

Après battage du blé, les balles sont récupérées pour être utilisées comme fumier, surtout pour les cultures pratiquées autour des cases, notamment le bananier et le caféier. Ces balles se décomposent très difficilement.

Dans les régions de riziculture irriguée, on utilise aussi les balles de riz. Celles-ci, comme celles de blé, se décomposent très difficilement; c'est pourquoi les paysans les brûlent d'abord pour utiliser la cendre comme engrais.

c) Mulch

Cette technique est bien comprise par l'agriculteur zaïrois surtout pour les cultures de caféier, bananier (en régions de montagne) palmier... Elle a l'avantage d'augmenter la teneur du sol en humus, en y maintenant l'humidité disponible pour les plantes. On utilise comme paillis les feuilles de bananier, pennisetum, carex, chaumes de haricots, balles de blé...

d) Engrais vert

Cette pratique est connue au Zaïre en agriculture intensive et dans certaines régions très peuplées où l'agriculture est passée du stade semi-itinérant au stade sédentaire. Elle prend plusieurs formes:

- i) Dans les systèmes de production intensive, la jachère n'existe pas; immédiatement après la récolte, on procède au labour en restituant au sol les résidus de récoltes et l'herbe verte trouvée sur place.

- ii) l'enfouissement, au labour, de matières vertes que le paysan va chercher en brousse loin de son champ. Cette pratique est courante chez les maraîchers de Kinshasa où les sols sont très sablonneux. Elle est fastidieuse en raison des distances entre les lieux où on coupe l'herbe et le jardin. En plus, les bottes d'herbes coupées sont transportées sur la tête ou au dos.
- iii) la culture d'un engrais vert, faisant partie intégrante de la rotation ou non. Le champ exploité pendant des années est laissé en jachère pendant quelques mois et pendant cette période de repos, on y pratique une culture qui sera enfouie dès la floraison. On utilise surtout les légumineuses: lupin, Tephrosia vogelii, soja...
- iv) les plantes de couverture sont utilisées surtout dans de grandes plantations (palmier, cacaoyer, caféier...) dans le but de protéger les réserves de matières organiques dans le sol. Sur le terrain en pente, elles servent aussi à protéger le sol contre l'érosion.

Les légumineuses sont le plus souvent utilisées comme engrais vert, car elles ont l'avantage de régénérer le sol en azote et en humus.

Deux catégories sont utilisées :

- . Les légumineuses érigées: *Leucaena glauca*, *Flemingia sp.*, *Tephrosia vogelii*, *Crotalaria agathiflora* sont souvent utilisées en haies, taillées à intervalles rapprochées dans le but de produire de la matière organique et éventuellement protéger le sol contre l'érosion.
- . les légumineuses volubiles comme le *Pueraria javanica* et le *Stylosanthes gracilis* donnent des résultats satisfaisants et sont utilisées en même temps comme plantes fourragères.

Certaines plantes adventices, généralement maintenues en mélange, sont aussi recommandées ; ce sont : *Galinsoga*, *Ageratum*, *Synedrella*, *Bidens*, *Commelina* . . .

e) Déchets industriels

Les déchets industriels les plus utilisés en agriculture zaïroise sont : les drèches de brasserie, les sons de riz et les parches de café. Ils servent soit pour nourrir les animaux (drèche et sons de riz), soit comme fumier organique en cultures maraîchères et vivrières.

- La drèche de brasserie est utilisée en culture maraîchère surtout par les maraîchers de Kinshasa. On la répand sur les plates-bandes, pour compléter les gadoues, en raison d'une brouette de drèche fraîche, ou 2 à 3 brouettes de drèche bien décomposée et sèche, par 20 m².

- La parche de café est utilisée en maraîchage en raison d'une brouette par m². Les grandes plantations disposant des décortiqueuses produisent cette parche en grandes quantités. Elle est récupérée pour être utilisée comme fumier organique dans les plantations.

- Les sons de riz sont récupérés soit pour nourrir le bétail, soit pour être utilisés comme fumier, surtout en riziculture irriguée. Après le premier labour, qui est superficiel, le casier qui recevra le paddy est mis sous eau pour accélérer la décomposition du son de riz. Deux à trois semaines après, la décomposition est complète et on procède au deuxième labour.

Signalons aussi qu'autour de grands centres comme Kinshasa où on pratique la pisciculture, la drèche de brasserie est utilisée comme aliment du poisson. A Kinshasa, l'espèce élevée au Projet maraîchage et Pisciculture est le *Tilapia nilotica*. Les drèchés sont consommées par cette espèce, et les quantités non consommées donnent par décomposition un très bon engrais, riche en azote qui donne une forte production de phytoplancton.

Doses d'aliments : . 1er et 2ème mois : 2 kg/are/jour
. 3e et 4ème mois : 4 kg/are/jour
. 5e et 6ème mois : 6 kg/are/jour.

N.B. . 1 seau de drèche équivaut à 10 kg; 1 brouette équivaut à 35 kg.

Les sons de riz agissent comme la drèche et donnent des résultats encore supérieurs à dose constante de 2 kg/are/jour.

Rendements: 2,5 à 4 t/an avec la drèche; jusqu'ici 6 t/ha/an avec le son.

f) Ordures-municipales (Gadoues)

La région de Kinsahsa est à notre connaissance la seule région du Zaïre qui utilise cette matière en grandes quantités en agriculture, surtout en culture maraîchère dans le cadre du Projet maraîchage et pisciculture de Kinshasa.

Les sols de la région sont classés parmi les sols peu évolués (sols tropicaux récents) et ferralitiques. Ils sont constitués de sables quartzeux. L'étude du comportement de ces sols sableux sous une culture continue, relativement intense, fait ressortir la nécessité impérieuse d'apporter des amendements organiques réguliers pour maintenir la fertilité à un niveau satisfaisant.

i) Besoins

- Le projet maraîchage et pisciculture exploite près de 400 ha de maraîchage autour de Kinshasa et prévoit l'aménagement de près de 175 ha pour son projet d'extension. La Mission agricole chinoise exploite près de 100 ha de maraîchage dans les vallées des rivières Ndjili et Bibua. Plusieurs centaines d'hectares sont exploités par des maraîchers disséminés dans certaines zones de Kinshasa, encadrés ou non par le service urbain de l'agriculture. Le domaine agro-industriel de la N'Sele s'étend sur 450 ha, dont près de 50 ha consacrés au maraîchage.

Certains points particuliers situés dans les environs immédiats de Kinshasa peuvent être cités aussi comme utilisateurs des gadoues : les jardins des Vallées et ceintures vertes présidentielles, les pépinières des services urbains de l'agriculture et de l'environnement, les centres agricoles des confessions religieuses, les potagers de certaines fermes.

Tous ces centres et périmètres réunis, on peut estimer ainsi. la superficie totale pour Kinshasa à près de 2.000 ha qui théoriquement seraient susceptibles de recevoir chaque année du compost dont le marché potentiel pourrait atteindre alors 200.000 tonnes; en effet, pour maintenir la fertilité des sols sableux de Kinshasa, il est recommandé d'utiliser 100 t de compost par ha/an en moyenne.

ii) Disponibilités

La ville de Kinshasa compte actuellement près de 2 000 000 d'habitants, dont 170 000 habitants dans les zones résidentielles et 1 830 000 dans des cités. L'étude de l'organisation de la collecte et de l'élimination des résidus urbains et du nettoyage des voies publiques de la ville prévoit la collecte de 0,7 kg/habitant /jour de gadoues dans les zones résidentielles et 0,5 kg dans les cités.

Tout n'étant pas collecté, la quantité potentielle peut être évaluée en 1980 à 1 kg/habitant/jour dans les zones résidentielles et 0,7 kg dans les cités. La quantité potentielle totale, disponible pour Kinshasa est donc de 1 451/t/jour, soit 522 360 tonnes d'ordures brutes et 261 180 tonnes d'ordures triées par an, compte tenu d'une perte au triage de 50 pour cent environ.

Une analyse effectuée en 1971 a montré que ces gadoues sont ainsi composées :

1) Matières organiques	%
- Bois	3
- Chiffons, tissus, sacs, nattes	2,5
- Epluchures, feuilles, débris végétaux	42,5
- Déchets alimentaires	3,75
- Papiers, cartons	17,50
2) Matières minérales	
- Matériaux de construction, verre	2
- Sable, terre, graviers	25
- Métaux, boîtes de conserves	2,50
- Matières plastiques	0,25
- Caoutchouc	traces
- Divers non identifiables	1

Les caractéristiques des ordures différent avec la saison et les conditions climatiques, lesquelles modifient le régime alimentaire et la teneur en eau. Il s'ensuit que le poids spécifique ainsi que la proportion d'éléments fermentescibles peuvent varier d'une époque à l'autre. La composition peut varier aussi d'une localité à l'autre.

Les déchets organiques potentiellement existants sont donc amplement suffisants pour les superficies exploitées existantes. Mais la Société qui assure le ramassage n'est pas suffisamment équipée pour assurer le transport de tous ces déchets et les déposer aux lieux d'utilisation. Il suffirait que cette Société double son matériel pour que les exploitations maraîchères autour de Kinshasa soient servies en gadoues, à condition bien sûr que l'état des pistes permette aux camions d'accéder aux décharges aménagées à proximité de ces exploitations.

Dans le cadre de la salubrité publique de la ville, le Département de l'environnement mène depuis quelques mois une vaste campagne de propreté qui consiste à curer les canaux et déboucher les égouts. Des milliers de mètres cubes de boues et d'ordures diverses sont ramassées journalièrement et jetées alors qu'elles pourraient servir en agriculture.

iii) Approvisionnement

En 1957, lors de la création des deux premiers périmètres maraîchers (Ndjili et Kimbanseke) de l'actuel Projet maraîchage et pisciculture de Kinshasa, les techniciens d'alors, pour pallier la faible fertilité du sol, avaient jumelé la création de ces deux périmètres à celle d'une compostière établie à près de 5 km. Par la suite, l'activité de cette compostière a été interrompue, mais les maraîchers ont conservé l'habitude d'utiliser les ordures ménagères pour améliorer le rendement de leurs cultures.

Jusqu'à ces dernières années, la Transvoirie (Société de transport spéciaux et des voiries), chargée du nettoyage de la ville, livrait des camions d'ordures ménagères sur les emplacements préparés à cet effet à l'intérieur des différents périmètres, où les maraîchers venaient s'approvisionner en procédant préalablement au tri.

Mais la Transvoirie ne peut plus assurer cet approvisionnement en l'absence d'un parc de véhicules suffisant pour ramasser et transporter les ordures ménagères. Actuellement, elle ne peut collecter que 700 m³ par jour, qui sont stockés au plus près dans les décharges établies loin des périmètres maraîchers. Depuis plus de trois ans, aucune livraison régulière et officielle de gadoues n'a été effectuée à un périmètre. Les maraîchers s'approvisionnent peu et mal en ordures brutes par transaction directe avec les chauffeurs de bennes de ramassage, s'en faisant même livrer dans des pousse-pousse sur les décharges des quartiers voisins. Un camion de gadoues coûte de 60 à 100 Zaïres (20 à 35 dollars), suivant la capacité. Un pousse-pousse plein de gadoues revient de 6 à 10 Zaïres (2 à 3,5 dollars).

Dans sa nouvelle organisation, la Transvoirie regroupera les ordures dans un certain nombre de décharges bien localisées. Pour des raisons d'efficacité, cette société veut accroître le nombre de rotations de ses camions sur des routes en bon état. On ne doit donc plus compter sur des livraisons des gadoues aux périmètres maraîchers.

Les parches de café ne parviennent plus sur les périmètres.

Les drèches de brasserie sont livrées dans des décharges aménagées dans les centres maraîchers. Elles sont livrées irrégulièrement, au rythme approximatif de 50 m³ par semaine, ce qui correspondrait à 2.340 m³ par an environ, dont 73 m³ seraient utilisés pour la pisciculture.

Le Projet, comptant actuellement six centres maraîchers avec près de 3.000 maraîchers encadrés, se trouve ainsi en présence d'un problème qui conditionne directement la production et le revenu des maraîchers. Il faut donc prévoir l'organisation de l'approvisionnement des maraîchers en gadoues. Cela nécessitera soit un parc de camions important, s'approvisionnant en gadoues brutes dans des décharges publiques de la ville, soit un parc de camions réduit, s'approvisionnant auprès d'un centre de triage des ordures ménagères. Cette deuxième solution a pour avantage de satisfaire les normes sanitaires relatives à l'utilisation des déchets urbains et de réduire les contraintes qui s'attachent à la gestion d'un important parc de camions. Les maraîchers pourraient ainsi disposer des gadoues stockées par le Projet sur les aires prévues à cet effet, moyennant un montant forfaitaire annuel.

iv) Compostage des déchets

L'étude de l'organisation de la collecte des résidus urbains de Kinshasa propose deux décharges : une au nord-est et une autre au sud-ouest de la ville. Cette proposition ne doit pas faire oublier l'intérêt que les maraîchers manifestent à l'égard des engrais organiques pour leurs cultures. Certes, il faut mettre fin aux transactions directes avec les chauffeurs de camions, car ces habitudes désorganisent le service de collecte et faussent tout contrôle. De plus, les ordures n'ayant pas subi une fermentation préalable, les germes pathogènes, les parasites, les graines diverses n'ont pas été détruits. C'est pourquoi on préconise une usine de compostage à Kinshasa, destinée à traiter une fraction des ordures collectées.

Deux hypothèses ont été étudiées par le Projet maraîchage et pisciculture :

- une station de triage et de broyage, coûteuse en investissements et en fonctionnement, les broyeurs devant être renouvelés chaque fois après 1.000 tonnes de compost.
- une station de triage mécanique et manuel sans broyage, beaucoup moins coûteuse, donnant un produit organique semblable à celui utilisé actuellement par les maraîchers et réduisant de moitié le tonnage des matières à transporter sur les lieux d'utilisation.

Cette hypothèse est retenue. En effet, l'étude économique montre que l'usine de compostage sans broyage est supportable financièrement par les maraîchers. Elle permet de leur fournir un produit trié au prix de 15 Z/m³ (+ 5 dollars E.U.) dont 8 Z (2,6 dollars) pour le transport (investissement et fonctionnement compris) et 7 Z (2,3 dollars) pour le triage (fonctionnement

seulement). Le cont d'investissement total serait de 3,33 millions de Zaïres (1,11 millions de dollars) sur trois ans de financement. Celui de l'usine de compostage avec broyage est estimé à 5,78 millions de Zaïres (1,926 millions de dollars). Sa capacité serait de 200 t/jour.

II. FIXATION BIOLOGIQUE DE L'AZOTE

Les systèmes culturaux varient d'une région à l'autre.

Dans les régions forestières peu peuplées, où l'agriculture est encore itinérante, on pratique des jachères de longue durée (plus de 10 ans) pour maintenir la fertilité du sol.

Dans les régions plus peuplées, les jachères longues de type forestier sont remplacées par les jachères de type herbacé de plus en plus courte. Dans les régions de savane et de montagne de l'Est, où la population est de plus en plus dense, les terres se raréfient et sont exploitées d'une façon intensive. Les cultivateurs ont acquis la notion de l'assolement et de la rotation. On cultive sur le même sol pendant plusieurs années en alternant les cultures, notamment des céréales suivies de légumineuses. Dans les régions de climat tempéré par l'altitude, le blé est suivi de haricots, pratique qui a donné de bons résultats. En région de savane chaude, une récolte d'arachide suit une récolte de paddy.

Les associations culturales (par ex. maïs avec haricots, manioc avec arachide) sont aussi pratiquées.

Il arrive aussi que pour régénérer le sol en azote et en humus, on introduise comme culture dérobée le haricot dans les plantations de caféier et de bananier.

III. PLAN DE DEVELOPPEMENT DU RECYCLAGE DES MATIERES ORGANIQUES DANS LE PAYS

A notre connaissance, il n'existe pas pour le moment un plan de développement du recyclage des matières organiques au Zaïre à part le projet de construction de l'usine de compostage prévue à Kinshasa par le Projet maraîchage et pisciculture, qui est le plus grand utilisateur des ordures ménagères. Et pourtant, il existe au pays plusieurs grandes villes dont les ordures peuvent être récupérées comme à Kinshasa. En plus des ordures ménagères, il existe autour de ces villes des industries dont les déchets sont récupérables pour être utilisés en agriculture et en élevage. Ces déchets (drèches de brasserie, mélasses de sucrerie, parches de café, les déchets d'huilerie...) ne sont pas récupérées la plupart du temps.

IV. VULGARISATION ET FORMATION

Un programme de vulgarisation et formation bien coordonnée est indispensable pour faire comprendre aux agriculteurs l'importance de l'aménagement des résidus végétaux et d'autres méthodes de recyclage des matières organiques.

Ces dernières années, le Département de l'agriculture et du développement rural a trouvé évident que les conditions à la diffusion du progrès technique et au développement rural ne concernent pas tout l'appareil de l'Etat. C'est pourquoi il recherche un type d'organisation autonome politico-économique capable de promouvoir le développement du monde rural en apportant des solutions à tous les problèmes; ce type d'organisation est la brigade agricole.

Il s'agit, dans une première phase, de créer les conditions pour la mise en place des équipes de production dont la réunion constitue la brigade agricole. La première phase commence donc par le regroupement des cultures. Dans une deuxième phase, on mettra en place la «Coopérative-agricole».

Les agents du Département devront veiller à respecter les conditions relatives à la diffusion du progrès technique et faire preuve de pragmatisme dans leurs actions. Ils devront notamment prévoir les trois situations dans lesquelles le regroupement des cultures pourra se réaliser : la région forestière, la savane et la région de montagne.

Dans chacune de ces situations, il faut rappeler que les règles d'agronomie générale doivent s'appliquer après les nécessaires adaptations aux conditions pédoclimatiques particulières.

Cette structure mise en place, le suivi des agriculteurs par les encadreurs agricoles sera facile. C'est ainsi que l'encadrement technique veillera à faire respecter les assolements, les rotations et les superficies reguises, le calendrier et les méthodes culturales. Il accordera aussi ses soins au maintien des potentialités agronomiques du terrain en organisant la lutte contre l'érosion.

CONCLUSIONS

Nous venons de parler de l'utilisation et du recyclage des matières organiques en agriculture au Zaïre et plus spécialement en agriculture en région de Kinshasa.

Nous avons fait remarquer qu'au Zaïre, l'utilisation des matières organiques n'est pas encore beaucoup pratiquée en agriculture, surtout en agriculture paysanne, alors que le pays ne dispose d'aucune usine de fabrication d'engrais minéraux; ce qui fait que l'utilisation de ces engrais est aussi faible. Il s'ensuit que les ordures ramassées dans plusieurs autres grands centres ne sont pas récupérées pour être utilisées en agriculture. De grandes quantités de déchets d'industrie ne sont pas récupérées aussi.

Ceci a un impact certain sur la productivité.

Pour cela, il est recommandé à ceux qui sont chargés d'encadrer les agriculteurs, de les sensibiliser sur l'utilisation de la fumure organique. Leur apprendre les méthodes de fabrication de cette fumure comme la construction des compostières, l'association de l'agriculture au petit élevage là où il est possible de le faire. Ils devront les sensibiliser sur le respect des

assolements, des rotations et de la conservation des sols en luttant contre l'érosion.

Les pouvoirs publics devront organiser les services de nettoyage des grandes villes et faire en sorte que les ordures ramassées soient utilisées en agriculture.

Les services de nettoyage étant organisés, il faudra alors réanimer l'agriculture (cultures maraîchères et vivrières) autour de ces villes à l'instar de Kinshasa.

Pour une bonne utilisation des déchets d'industries, il est recommandé de réanimer l'agriculture vivrière, l'élevage et la pisciculture autour des centres où sont implantées les usines et les brasseries.

ANNEXES

PROGRAMME DES TRAVAUX

Lundi 24 novembre 1980

- 09H30 - Séance d'ouverture
a) Allocution du Représentant de la FAO
b) Allocution du Ministre du Développement Rural
ou son Représentant

- 10H30 - Point I - Recyclage des matières organiques
a) Introduction générale par Dr. F.W. Hauck
b) Exposés Nationaux
(i) Togo
(ii) Congo

Discussion

- 15H00 - Exposés Nationaux (suite)
(iii) Bénin
(iv) Haute-Volta

Discussion

- 16H30 (v) Zaïre
(vi) Mali

Discussion

Mardi 25 novembre 1980

- U8H15 - Point II - Communications
a) Emploi de la gadoue dans la production de
légumes (G. Grubben)
b) Résidus de récolte et leur emploi dans
L'agriculture togolaise (M. Dossou)

Discussion

- c) Principaux systèmes de culture traditionnelle
au Congo (D. Dzaba)
d) Point sur la valorisation des résidus de
récolte au Sénégal (Ganry)

- 14H30
- e) Le recyclage des matières organiques dans l'agriculture chinoise (R. Sant'Anna)
 - f) Fixation d'azote chez les cyanobactéries libres ou en symbiose (Azolla) (P. Reynaud)
 - g) Point de la recherche sur la fixation symbiotique de l'azote (Mulongy)
 - h) Fixation biologique de l'azote: Point des travaux en Haute-Volta (B. Delvaux)
 - i) Emploi de la fixation symbiotique de l'azote par l'introduction de nouvelles souches de rhizobium (L. Kumidimata)

Mercredi 26 novembre 1980

- 08H00 - Point II - Communications (suite)
- j) utilisation des engrais organiques et minéraux pour la production agricole (R. Seiti et M. Dossou)
 - k) Les légumineuses en assolement ou en culture associée au Togo (M. Dossou)
 - l) Programme biogaz en Haute-Volta (M. Sérémé)

10H15 Exposés Nationaux (suite et fin)

- (vii) Niger
- (viii) Mauritanie
- (ix) Rwanda
- (x) Sénégal
- (xi) Guinée

- 14H30 - Point II - Communications (suite et fin)
- m) Les résidus de récolte pratique traditionnelle et moderne de leur emploi (J. Poulain)
 - n) Emploi efficace des engrais organiques et minéraux (J. Poulain)
 - o) Les engrais verts espèces utilisées et leur position dans l'assolement

Discussion

16H15 - Point III - Réunion des Groupes de Travail

- a) Problèmes de la recherche
- b) Fixation biologique de l'azote
- c) Formation et vulgarisation

Jeudi 27 novembre 1980

07H00 - Point IV - Visites

Visite de l'ONAF
Visite de l'huilerie
Visite IFCC
Centre artisanal

Vendredi 28 novembre 1980

Point III (suite)

08H30 - 12H00)
) Réunion des Groupes de travail
15H00 - 18H00)

Samedi 29 novembre 1980

09H00 - 12H00 Adoption des rapports et recommandations

17H00 Séance de clôture

ANNEXE 2 - LISTE DES PARTICIPANTS

NOMS ET PRENOMS	TITRE	PAYS ou ORG.	ADRESSES
1. DJEGUI Narcisse	Ingénieur agronome	Bénin	Station de Recherche de Niaouli (Attogou)
2. KOGBLEVI Aziadomé	Directeur, Projet PNUD/FAO Agro-pédologie	Bénin	Cotonou, Lots 46-47, Akpakpa
3. NZIEFE Alphonse	Ingénieur agro-pédologue	Congo	B.P. 19 Madingou
4. DZABA Désiré	Directeur C.R.A.L.	Congo	B.P. 28 Loudima
5. DELVAULX Marc	Ingénieur agronome, Projet Engrais FAO	Haute-Volta	B.P. 602 Bobo Dioulasso, ou B.P. 575 Ouagadougou
6. SEREME Moussa	Ingénieur agronome, Protection végétale et vulgarisation	Haute-Volta	B.P. 7028 Ouagadougou
7. BIRANTE Soumaré	Ingénieur agronome	Mauritanie	SONADER, P.B. 321, Mauritanie
8. KANTE Moussa	Ingénieur agronome, Directeur, O.H.V.	Mali	Opération Haute Vallée B.P. 178 - Bamako
9. OUMAMOU Ibrahim	Ingénieur d'agriculture	Niger	
10. GANRY Francis	Ingénieur agronome (ISRA-IRAT)	Sénégal	CNRA, Bambey
11. IBRAHIMA Camara	Ingénieur agro-pédologue	ADRAO	ISRA/ADRAO Projet spécial B.P. 29 - Richard-Toli, Sénégal
12. REYNAUD Pierre	Recherche ORSTOM	Sénégal	B.P. 1386 Dakar
13. KALEMANI Mulongoy	Microbiologiste des sols	IITA	IITA, Oyo Road, Ibadan, Nigeria
14. KUMIDIMATA Lau	Ingénieur agronome	Zaire	Avenue Lobo No. 83 Zngaba, Kinshasa

15. KAROTSO Kakule	Ingénieur agronome, technicien	Zaïre	Kasavubu Av. Lokolama N°25 B.P. 10317, Kin. 1., Kinshasa
16. FACELY Traoré	Aide-ingénieur aménagiste	Guinée	FAPA No. 2 Koubie
17. NYAOUMA Jean Marc	Ingénieur d'agriculture	Cameroun	B.P. 68, Eséka
18. KAREKEZO Célestin	Chef de Division, Production vivrière	Rwanda	B.P. 621, Kigali
19. Mme MENSAH Ayélo	Chef de Service, Espaces verts	Togo	D.G.D.R., Lomé
20. HOUYENDAH Missiham-Tchou	Ingénieur agronome	Togo	B.P. 341 - D.G.D.R., Lomé
21. DOE Kodzovi	Ingénieur agronome	Togo	D.G.D.R., Lomé
22. AGBOWOAN Yawovi	Ingénieur agronome	Togo	D.R.A. Lomé
23. SOSSOU Assogbavi	Ingénieur d'agriculture	Togo	PRODERMA, Lomé
24. ALLAGLO Lomko	Ingénieur agronome	Togo	PEDOLOGIE, Lomé
25. POULAIN Jean	Ingénieur agronome	Côte d'Ivoire	Bouaké
26. HAUCK, F.W.	Chef, Service de l'aménagement et de la conservation des sols	FAO	FAO, Rome
27. OFORI, C.S.	Fonctionnaire technique, Division de la terre et des eaux	FAO	FAO, Rome
28. SANT'ANNA R.	Fonctionnaire régional, Ressources des sols	FAO	FAO, Accra
29. CHILLOH Kpakpovi	Ingénieur principal d'agriculture	Togo	B.P. 446, Lomé
30. OUSMANE Diaw	Responsable suivi et programma- tion	Sénégal	SODEVA, Thiès, B.P. 48.

DISCOURS D'OUVERTURE DU MINISTRE DU DEVELOPPEMENT RURAL

Monsieur le Représentant Résident du PNUD,
Monsieur le Représentant de la FAO,
Distingués séminaristes,
Honorables invités,
Mesdames, Messieurs,

C'est pour moi un réel plaisir, au nom du Ministre du développement rural, de vous souhaiter la bienvenue au Togo, terre de dialogue, de concertation et de paix.

La capitale du Togo, Lomé, a encore en mémoire la dernière Conférence régionale de la FAO pour l'Afrique, la onzième de son genre, au cours de laquelle d'importantes résolutions ont été prises en faveur du monde rural.

Dans ce monde aux lendemains incertains, où les pays en voie de développement doivent se battre pour se tailler une place honorable au prix d'efforts considérables, il apparaît nécessaire que se tiennent des rencontres périodiques au cours desquelles des concertations et échanges d'expériences se fassent afin de déterminer les voies et moyens devant nous aider à dépendre moins des pays développés.

C'est pourquoi je salue l'heureuse initiative de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et l'Office central suédois pour l'aide au développement international (SIDA), d'organiser ce séminaire sur le recyclage des matières organiques en agriculture à l'intention des responsables qualifiés travaillant dans la recherche et la vulgarisation des techniques d'utilisation des engrais au niveau de l'exploitation.

Nul n'ignore l'importance que revêtent les techniques d'amélioration utilisées dans les processus du développement agricole.

Ainsi, je voudrais, Messieurs les séminaristes, rappeler à votre attention des schémas que vous vivez tous les jours dans l'exercice de vos fonctions et qui constituent la base fondamentale du développement de l'agriculture, que ce soit dans les pays tempérés ou dans les pays chauds. Les exploitations agricoles, végétales et animales, nécessitent un biotope adéquat pour leur croissance, et

l'élément essentiel et primordial en est le facteur sol. La plante tire en effet les substances nutritives du sol qui lui sert en même temps de support. Ce substrat s'appauvrit malheureusement et à une allure considérable dans les pays africains, par l'exportation massive des éléments nutritifs et la dégradation édaphique accélérée. Pour pallier cette situation, il nous est recommandé plusieurs techniques modernes d'amélioration du sol, entre autres l'utilisation des engrais minéraux. Or, à l'allure où vont les choses, et face à la conjoncture internationale, caractérisée par une inflation sans cesse galopante, l'usage inconsidéré de la fumure minérale grèverait considérablement les budgets de nos Etats, eu égard aux subventions substantielles que ne cessent de consentir nos gouvernements, à juste titre, aux productions agricoles.

Ce stage sur le recyclage des matières organiques en agriculture vient à point, car il permettra de mettre en relief, d'une part l'utilisation des résidus végétaux, des déchets, des ordures ménagères, des eaux usées en liaison avec l'amélioration de l'emploi des engrais minéraux pour la production végétale à des prix compétitifs, et d'autre part les possibilités de développer l'utilisation des matières organiques pour la production agricole dans les conditions socio-culturelles propres à l'Afrique.

Je reste convaincu que de vos travaux sortiront des recommandations et des programmes d'action qui serviront de canevas à nos systèmes de modernisation agricole dans le contexte des réalités des pays africains. Il le faut, car les statistiques sur la situation alimentaire en Afrique ne sont pas optimistes et nous avons le devoir impérieux d'accroître la production alimentaire afin d'atténuer efficacement la famine et la malnutrition qui planent sur notre continent comme une épée de Damoclès.

Toutes ces considérations ne doivent pas nous laisser indifférents, nous techniciens, si l'on sait que les pays en développement auront besoin de 50% des produits alimentaires de plus, d'ici l'an 2000, simplement pour maintenir les niveaux actuels de consommation, qui sont d'ailleurs insuffisants.

Au Togo, sous la conduite du Président Fondateur de notre parti du salut public, le Rassemblement du peuple togolais, Président de la République Togolaise, le général d'armée Gnassingbé Eyadéma, bien des dispositions sont prises pour notre autosuffisance alimentaire et le mieux-être de l'homme togolais.

Ainsi, la politique de révolution verte, dont les résultats enregistrés sont probants, confirme éloquemment le pari : «Produire plus pour dépendre moins».

Mesdames, Messieurs,

Améliorer la qualité de vie du milieu rural pauvre est un défi lancé à la science et à la technique ainsi qu'aux services de développement, et il est de notre devoir de le relever.

Pour terminer, je tiens à renouveler, au nom du Gouvernement mes vifs remerciements à la FAO et au SIDA, dont les contributions efficaces ont permis l'organisation de ce séminaire.

Tout en souhaitant un excellent déroulement des travaux je déclare ouvert le stage sur le recyclage des matières organiques en agriculture.

Vive la FAO,
Vive le SIDA
Vive la coopération internationale,
Vive le Togo nouveau.

DISCOURS DU Dr. I. KONATE , REPRESENTANT
DE LA FAO AU TOGO

Monsieur le Ministre,
Monsieur le Représentant Résident du PNUD,
Excellence, Mesdames, Messieurs.

S'il est un devoir dont je m'acquitte avec plaisir, c'est celui de m'adresser à vous, à l'occasion de l'ouverture de ce séminaire sur le recyclage des matières organiques, organisé conjointement par la FAO, l'Agence suédoise pour le développement, et le Gouvernement togolais.

Vous me permettrez tout d'abord, au nom du Directeur général de la FAO - et en vos noms à tous, Messieurs les délégués - de demander à Son Excellence Monsieur le ministre du développement rural, de transmettre au peuple togolais et à son guide prestigieux, le général Gnassingbé Ryaaéma, Président Fondateur du RPT et Président de la République, l'expression de notre profonde reconnaissance, pour avoir accepté d'abriter ce séminaire et pour toutes les facilités offertes pour que chacun de nous se sente comme chez soi.

Excellence, Messieurs les délégués, Mesdames et Messieurs, comme vous le savez peut-être, la situation alimentaire de la Région demeure très préoccupante, puisque les disponibilités alimentaires par habitant diminuent de 1 % par an et que la crise de l'énergie des années 1972 et 1973 n'a fait qu'accentuer le phénomène. En effet, le prix des engrais et des pesticides s'est trouvé sans cette partie de la Région multiplié par cinq, limitant de ce fait l'emploi de ces intrants indispensables à une augmentation de la production agricole.

Mais d'un autre côté, paradoxe assez surprenant, l'on assiste dans nos villes, nos villages et nos campagnes à la destruction inconsciente de matières organiques dont la valeur en équivalent NPK se chiffre à des milliards de dollars des Etats-Unis. A titre d'exemple, une agglomération de 100.000 habitants produit en moyenne chaque année 23.000 tonnes d'ordures ménagères, qui peuvent être utilement employées pour améliorer et maintenir la fertilité de nos sols.

Excellence, Mesdames, Messieurs, face à ces problèmes, vous admettez avec moi, que l'initiative conjointe de la FAO et de l'Agence suédoise pour le développement, d'organiser cette rencontre d'éminents techniciens pour discuter et chercher les voies et moyens d'une meilleure revalorisation de ce qui communément est considéré - à tort - comme une «saleté» est une initiative très heureuse. Aussi suis-je convaincu que pendant toute cette semaine, la confrontation des résultats expérimentaux de nos collègues des instituts de recherche et les expériences nationales de chacun de nous, ouvrira la voie à une meilleure utilisation de ces ressources, surtout au moment où nos pays, sous l'effet conjugué de la pression démographique et de la demande de matières premières agricoles sont obligés pour survivre d'intensifier leur agriculture.

Je vous souhaite plein succès dans vos travaux.

RECOMMANDATIONS

1. RECOMMANDATIONS DU GROUPE «RECHERCHE»

A. CONSTITUTION D'UNE BANQUE DE DONNEES SUR LES TECHNIQUES CULTURALES TRADITIONNELLES (ENQUETES EN MILIEU RURAL ET RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE)

I. Les hommes et les structures

1. Constitution d'une équipe pluridisciplinaire constituée pour le moins de spécialistes nationaux dans les domaines suivants, constituant la cellule de départ (structure nationale):

- agropédologie
- agroéconomie
- agrosociologie

Pour les zones urbaines, prévoir un agent du génie sanitaire.

Il importe que cette étude soit faite par des nationaux.

2. Désignation d'un coordinateur sous-régional (structure sous-régionale).
3. Constitution d'une structure régionale au niveau de l'Afrique et de la FAO.

II. Les thèmes principaux

1. Nature des différentes matières organiques
2. Leurs quantités
3. Leurs modes d'utilisation

B. LES ACTIONS DE RECHERCHE (incluant les temps de travaux)

Les ressources en matière organique sont d'origine

- urbaine

. Gadoue

Gadoues à (C/N) > 20, nécessité de composter; recherche des techniques les plus économiques .

Gadoues à (C/N) < 20 et/ou composts précédents; études agro-économiques de la combinaison des différentes formes de fumures (organique et minérale) .

- définition d'une dose optimale
- détermination de la qualité nutritionnelle des produits
- . Egoûts (eaux usées)
- . Engrais flamand
- industrielle
 - . Bagasse, drèche, coque d'arachide; rafles de palmiers à huile; tourteaux de palmistes; balles de riz; tourteaux de copra

Des recherches sont à entreprendre avec les industriels pour la valorisation de leurs sous-produits organiques

- rurales
 - . Origine végétale
 - Résidus de récolte
 - Brûlis
 - Nécessité de mettre en place des essais pluri-annuels (5 à 10 ans)
 - Effets du brûlis:
 - . sur les cultures à mettre en place
 - . l'état physique du sol
 - . l'état physicochimique du sol
 - . l'état biologique
 - Etude comparative avec d'autres techniques de valorisation des résidus organiques
 - Paillage et/ou enfouissement des résidus de récolte
 - Etude de l'effet dépressif de la restitution directe de certains résidus sur la culture.
 - Compostage dans les zones sans élevage dominant
 - Compost semi-aérobie
 - Mise au point de techniques simples de compostage (nature du matériel végétal, durée du compostage, combinaison avec des amendements)
 - Essais de valorisation par voie microbienne (production de fertilisants biologiques liquides, fixation de N)

Compostage anaérobie "biogas"

- Mise au point de techniques en fonction du matériel végétal
- Etude de la qualité agronomique du compost (stabilisation de l'azote, rôle fertilisant)

Pâturage sous contrat

(cf. enquêtes en milieu rural)

Jachères

Jachère spontanée

Etude de l'utilisation rationnelle de la jachère spontanée par la technique d'écobuage

- Effet à long terme de l'écobuage sur les propriétés physiques, chimiques, biologiques du sol et sur les rendements
- Tentative d'amélioration

Jachère améliorée

Recherches :

- l'introduction de légumineuses et de plantes améliorées
- le travail du sol et la fertilisation
- la durée de la jachère

. Origine animale

Etudes sur le compostage du fumier traditionnel.

(poudrette)

- Compostage traditionnel
- Compostage biogas.

CONCLUSIONS

RECOMMANDATIONS AUX ETATS MEMBRES ET A LA FAO

1. AUX ETAT MEMBRES

Inscrire dans leurs programmes nationaux de recherche les axes de recherche retenus par le Séminaire et d'y allouer tous les moyens nécessaires.

Accorder une priorité particulière à la constitution de banques de données.

2. A LA FAO

Compte tenu de l'importance du monde rural traditionnel et du fait que dans la plupart des Etats membres, les instituts de recherches et les organismes de développement ne possèdent pas de données sur les techniques culturelles traditionnelles, le Séminaire demande à la FAO de tout mettre en oeuvre de toute urgence pour la collecte de données sur les techniques culturelles traditionnelles fondées sur les enquêtes en milieu rural et sur la recherche bibliographique en vue de la constitution de banques de données.

RECOMMANDATIONS DU GROUPE : FIXATION BIOLOGIQUE DE L'AZOTE (FBA)

INTRODUCTION

L'autosuffisance alimentaire est un objectif de tous les pays. Par conséquent, les besoins en fumure, surtout azotée, ont augmenté. A cause du coût croissant des engrais, il est recommandé de substituer la fumure minérale par une fumure organique.

Peu de recherches et d'efforts de vulgarisation ont été consacrés à la fixation biologique de l'azote, comme l'indiquent les exposés des délégués.

Les acquis dans le domaine de la FBA en Afrique

Quelques pratiques culturales à partir desquelles les pays africains bénéficient de la FBA :

1. Légumineuses symbiose Rhizobium/légumineuses

- a) Zone soudano-sahélienne :
 - rotation culturale
 - association culturale
 - essai d'inoculation de l'arachide avec des souches importées (sans résultat intéressant)
- introduction de Sesbania en jachère

- b) Zone soudanienne :
 - rotation, association culturale
 - introduction du soja
 - inoculation de soja (succès), arachide, niébé, haricot
 - introduction de légumineuses arbustives et fourragères

Recommandations

1. Légumineuses

- a) Niébé : -sélection des variétés résistantes aux insectes et maladies; encourager niébé en association et rotation avec céréales dans les zones de forte consommation, pour son apport d'azote; L'avantage d'inoculer le niébé n'a pas encore été démontré, mais les recherches doivent être poursuivies;

- b) Arachide : - Introduire l'arachide dans les systèmes de rotation;
- l'avantage d'inoculer l'arachide reste à démontrer ainsi que les formes d'inoculum et les techniques d'inoculation les plus appropriées

- assolement, jachère.
- c) Soja : - Il existe des variétés agronomiquement intéressantes et des inoculums appropriés. Il ne reste qu'à les vulgariser

- en recherche fondamentale, étudier la pérennité des souches inoculées et la contribution du soja au bilan d'azote.
- d) Sesbania : - Déterminer la meilleure pratique culturale (enfouissement ou repiquage) pour un maximum de profit;
- criblage des espèces et identification des plus efficaces dans la fixation de l'azote ;
- préciser les avantages comme engrais vert et du point de vue de l'apport d'azote.
- e) Autres légumineuses non fourragères :
- Développer et vulgariser la culture en couloirs avec *Flemingia congesta* comme au Togo ;
Leuceana leucocephala, *Tephrosia*, «Pigeonpea», *Cajanus cajan*, etc...
- f) Légumineuses fourragères :
Dans le cadre d'une intégration des animaux de labour à l'agriculture, envisager l'introduction des légumineuses fourragères dont les bienfaits ont été confirmés par la recherche (*Stylosanthes*, *Centrosema*, *Pueraria*).

2. Céréales (principalement le riz)

- a) Zone soudano-sahélienne : - essai expérimental sur *Azolla* seulement au Sénégal et en Mauritanie
- b) Zone soudanienne : - extension de l'utilisation traditionnelle d'*Azolla* (en Guinée)

Recommandations

- a) Mil, sorgho, maïs :- Préciser les meilleures associations et rotations selon les zones et définir la contribution des légumineuses;
- b) Riz: - Utiliser le protocole décrit (ci-joint) en vue de démontrer l'intérêt d'utiliser Azolla dans les rizières en Afrique. Il faut cependant former du personnel, définir les meilleures pratiques culturales et identifier les variétés les plus efficaces.

Formation et vulgarisation

1. Promouvoir la formation de spécialistes dans les instituts de recherche existants et l'organisation d'un cours à l'échelle régionale.
2. Organiser la réunion de la commission d'évaluation des essais sur l'Azolla.

RECOMMANDATIONS

1. AUX ETATS

- Que chaque Etat
- a) demande et procure à ses institutions les moyens indispensables à la promotion de la FBA, tant du point de vue fondamental qu'applique, sur les céréales et les légumineuses;
 - b) facilite les recherches sur la FBA des organismes internationaux qu'il abrite.

2. A LA FAO ET AUX AUTRES ORGANISMES INTERNATIONAUX

- a) assister les Etats dans la réalisation de leur programme sur la FBA;
- b) coordonner les travaux sur Azolla ainsi que les efforts de vulgarisation de la technologie de la FBA avec la collaboration des centres de recherche tels que l'IIZA, ADRAQ, ORSTOM.;
- c) renforcer les structures de recherches existantes sur la microbiologie du sol;
- d) organiser conférences et séminaires.

P R O T O C O L E

UTILISATION D'AZOLLA EN RIZICULTURE

Azolla est une fougère aquatique qui peut se développer facilement dans les rizières. Elle peut pousser dans un milieu pauvre en azote, car elle héberge dans sa feuille supérieure une cyanobactérie fixatrice d'azote.

L'association Azolla-Anabaena azollae peut fixer jusqu'à 3 kg N/ha par jour et contient 2 à 4 % de N. Cette remarquable aptitude explique que cette association a été utilisée depuis des siècles comme engrais vert en Chine et au Vietnam. En Afrique de l'Ouest existe Azolla pinnata var. africana, espèce fréquente dans les mares et les cours d'eau pérennes; elle se développe dans les roseaux et le long des berges.

En avril 1979, les scientifiques des pays asiatiques se sont réunis à l'IRRI (Philippines) pour élaborer un protocole commun permettant de tester l'effet de l'inoculation d'Azolla en rizières. Les potentialités d'Azolla africana devraient être explorées en Afrique de l'Ouest; à cet effet nous avons adapté le protocole expérimental approuvé à l'IRRI dans le cadre de l'INSFFER (International Network on Soil Fertility and Fertilizer Efficiency in Rice).

1. PREPARATION D'UN INOCULUM

Deux cas peuvent se présenter

- a) il y a suffisamment d'Azolla dans la région agricole pour une inoculation directe dans les rizières à raison de 200 g (poids humide) par m². Il suffit alors de ramasser à la main ou au rateau, rincer à jet doux puis égoutter sur tamis moustiquaire et peser la quantité d'Azolla à utiliser; les Azollas de la région sont en faible quantité ou présentent des carences (couleur rouge ou jaune). Il faut alors préparer un inoculum.
 - L'Azolla doit être inoculée dans un milieu non perturbé et soumise à une intensité lumineuse journalière comprise entre 15 et 60 klux; elle doit recevoir P, K et Fe en quantités suffisantes avec un pH optimum de 5,6 - 6.

Dispositif expérimental : une zone de culture de 1 m de large sur x m. de long, est préparée dans une rizière, séparée du reste du dispositif expérimental par une claie ou une planche afin d'éviter la dispersion d'Azolla. Elle sera recouverte d'une ombrière qui pourra être une toile moustiquaire tendue sur cadre de bois ou un paillis disposé assez lâche. Le niveau de l'eau sera maintenu à 5 - 10 cm minimum.

L'inoculum prélevé in situ est lavé doucement dans un bac contenant 500 ppm d'eau de Javel, rincé en évitant que les racines ne se détachent et essoré sur toile moustiquaire ou sur papier buvard. Il est inoculé à raison de 200 g (poids humide) par m². Lorsque toute la zone inoculée est recouverte, augmenter la surface d'un m², etc...

On apportera tous les 5 jours .

- 5 kg/ha de P 0 en solution, pulvérisé directement sur Azolla.
- 0,5 ppm de Fe²⁺ sous forme de citrate, soit - suivant sa pureté (17 % ou 28 %) - 1,7 à 3 g par m²
- si l'eau d'irrigation est très pauvre, 10 ppm de K sous forme de KCl.
- 1 kg de matière active Furadan/ha.

La production d'inoculum se poursuit jusqu'à l'obtention d'une

b) Explication des traitements

- Traitements 2 et 3 : N est appliqué avant repiquage, 20 jours après repiquage et 25 jours avant épiaison.
- Traitement 4 : le temps demandé pour une couverture totale peut varier de 2 à 4 semaines. La rizière est mise à sec avant l'incorporation et remise sous eau pour le repiquage
- Traitement 5 . Azolla est inoculée 2 à 3 jours après le repiquage et incorporée après couverture totale. La rizière est mise à sec avant l'incorporation. L'incorporation se fait par un labour manuel ou en foulant Azolla au pied.
- Traitement 6: Pas d'incorporation d'Azolla.
- Traitements 7 et 8 . L'engrais azoté est appliqué de la même façon que dans les traitements 2 et 3. Pour un effet positif sur la croissance d'Azolla, la lère dose d'engrais azoté doit être enfouie.
- Traitement 9 . Azolla est incorporée avant le repiquage puis, après remise sous eau, est réinoculée à raison de 200 g/m² , comme pour le traitement 5, et incorporée après couverture totale.

c) Inoculum : préparé comme décrit au paragraphe 1.

d) Application de phosphore

Au total : 25 kg de P₂O₅ /ha sous forme de superphosphate.

5 kg de P₂O₅ sont appliqués chaque semaine par pulvérisation en suspension aqueuse à 1 % sur la surface recouverte par Azolla; le superphosphate n'est pas mélangé au sol. Le diamètre de l'orifice du pulvérisateur sera supérieur à 1 mm.

Suivant les traitements la méthode d'application du phosphore diffère :

- Traitements 1, 2, 3 : incorporation au début du cycle avec le potassium.
- Traitements 4, 7: Siles 25 kg de P₂O₅ n'ont pas été appliqués avant le repiquage, le reste² est appliqué à raison de 5 kg par semaine après le repiquage.

- Traitements 5,6, 8 : les applications (en pulvérisation) commencent après le repiquage et continuent même après l'incorporation d'Azolla.
- Traitement 9 : si le total de 25 kg de P₂O₅ est appliqué avant la première incorporation, on devra⁵ continuer les applications à raison de 5 kg/ha/semaine jusqu'à la couverture totale par le second inoculum. Dans ce cas la quantité de P₂O₅ apportée est variable.

e) Application de potassium

25 kg de K₂O/ha (KCl ou K₂SO₄) sont ajoutés dans tous les traitements² avant repiquage⁴.

f) Insecticide

La carbofuran (à raison de 50 g de matière active à l'hectare par semaine) peut être appliqué avec le superphosphate jusqu'à couverture totale. Autrement, le furadan (à raison de 1 kg de matière active/ha) peut être réparti en deux applications : un enfouissement au début du cycle et un épandage après le repiquage. Les herbicides ne peuvent être utilisés car ils peuvent tuer Azolla.

g) Préparation des essais

Dans les traitements 1, 2, 3, 5, 6 et 8, Azolla n' est pas inoculée avant le repiquage, mais les parcelles doivent être mises sous eau de la même façon.

La surface des parcelles sera de 25 à 30 m² , avec au moins trois répétitions réparties au hasard.

Le riz de la variété couramment utilisée dans la région aura un espacement de 25 x 25 cm.

Le niveau de l'eau sera maintenu à un minimum de 5 - 10 cm. Les canaux d'irrigation et de drainage devront être séparés afin d'éviter les contaminations par Azolla et par les fertilisateurs. Les diguettes devront être très élevées, car Azolla, collée à la peau des animaux des rizières (grenouilles, rats, serpents) est facilement disséminée. Au niveau des drains une claie, ou toile moustiquaire, doit empêcher Azolla d'être emportée.

h) Séquence, localisation

Les essais peuvent se dérouler soit sur une seule saison de culture, et dans ce cas on choisira la plus favorable (en général la saison humide) soit, dans les mêmes parcelles, et en suivant le même mode opératoire, sur plusieurs cycles culturaux, pour apprécier l'effet retard.

On pourra en général choisir un site en zone tropicale sèche et un site en zone tropicale humide pour chaque pays, mais ceci est nécessairement fonction des stations agronomiques existantes.

i) Analyse

- a) Evaluation des rendements en grains par parcelle et par traitement, du tallage et du nombre de panicules.
- b) Estimation de l'apport de N et C par Azolla, suivant le traitement : après la récolte, sur le sol sec, une série de 10 prélèvements avec un carottier de 5 cm/0 et 20 cm de profondeur est effectuée dans chaque parcelle. L'analyse de N (Kjeldahl) et de C (Carmhograph) se fait sur les prélèvements regroupés et homogénéisés.
- c) Mesures périodiques de l'ammoniac dans les 10 cm de sol plus eau de subversion.

RECOMMANDATIONS DU GROUPE "VULGARISATION ET FORMATION"

A. VULGARISATION

Considérant que l'autosuffisance alimentaire est un objectif prioritaire pour tous les pays africains,

Considérant que leur déficit alimentaire ne peut être résolu que par l'augmentation de la productivité,

Considérant le prix sans cesse croissant des intrants agricoles en général et des engrais minéraux en particulier,

Considérant que l'association élevage/agriculture est en voie d'extension, grâce essentiellement à l'introduction de la culture attelée,

Considérant que les cultures laissent après la récolte d'importantes masses de résidus qui sont en général brûlés,

Considérant que la jachère est acceptée et adoptée dans presque tous nos pays,

Considérant que le parcage le long de parcours des animaux est un moyen de récupération des déjections dans nos systèmes d'élevage extensif,

Considérant le rôle de l'arbre (alimentation des animaux, enrichissement en éléments minéraux et en matières organiques, protection du sol, bois d'oeuvre et de chauffe),

Considérant que d'importantes masses de matières organiques existent sous formes d'ordures ménagères (gadoues, engrais flamand, eaux d'égouts dans les grandes agglomérations, mais qu'elles ne sont pas rationnellement utilisées,

Considérant que la matière organique constitue un facteur de fertilisation essentiel,

Le Séminaire recommande aux Gouvernements :

- d'insister sur l'utilisation des fosses-fumières
- l'enfouissement direct des résidus de récoltes partout où cela est possible ;
- d'encourager la pratique de la jachère améliorée partout où cela est possible;

- de préconiser le parcage des animaux le long de parcours pour permettre de récupérer le fumier;
- d'organiser la pratique du reboisement collectif et individuel;
- la pratique du compostage et de l'utilisation de la gadoue, des eaux usées et engrais flamand.

B. FORMATION

Considérant qu'en général la pratique de la culture traditionnelle ne permet pas toujours l'utilisation de la matière organique,

Considérant l'importance d'une vulgarisation intensive et rationnelle dans l'utilisation de la matière organique,

Considérant la nécessité d'une formation plus accrue des formateurs dans le domaine de l'utilisation de la matière organique,

Considérant l'importance et l'efficacité des moyens audio-visuels pour assurer la formation et l'information,

Le Séminaire recommande :

1. Aux Gouvernements

- de tout mettre en oeuvre pour sensibiliser les masses à l'utilisation de la matière organique;
- d'introduire, dans les programmes des écoles en général et dans les établissements d'enseignement agricole en particulier, des cours portant sur l'importance de l'utilisation de la matière organique.

2. A la FAO en collaboration avec d'autres institutions et organismes donateurs

- l'organisation de séminaires, stages et cours de formation sur la matière organique du sol;
- des voyages d'information dans des pays ayant une expérience confirmée en matière d'utilisation des matières organiques;
- d'aider nos pays à acquérir des moyens pour assurer cette formation.