

CN 0100930

(f.G./m.S.)

DOCUMENT N. 41 / 83

FEVRIER 83

SOURCES ET GESTION DE L'AZOTE  
EN  
ZONE TROP | CALE SECHE

**Bilan de quinze années de recherches  
au C.N.R.A. de Bambey ( SENEGAL )**

**Par  
F. GANRY**

Ingénieur de recherches IRAT détaché auprès de l'ISRA

Communication présentée au colloque I.F.D.C. sur les  
sources et la gestion de l'azote et du phosphore  
dans les régions semi-arides de l'Afrique  
au Sud du Sahara - NIAMEY 21-23 FEVRIER 1983

## A - CONNAISSANCES ACQUISES ET PERSPECTIVES :

### Première phase : Intensification des cultures et optimisation de la productivité de l'unité d'azote

En raison de la nécessité d'intensifier l'agriculture **céréalière** des zones sahéliennes et soudano-sahéliennes, un ensemble de recherches a pris corps au CNRA de Bambey, orientées sur la dynamique de l'azote et le rôle spécifique de la matière organique.

Dans le but d'optimiser la fumure **azotée** sur céréale, mil surtout, nous avons étudié 2 thèmes :

#### a/ - Le pouvoir alimentaire azoté des sols sableux en diverses zones écologiques,

allant de la zone **sahélo-soudanienne** à la zone soudano-guinéenne; les études nous ont amené à approfondir nos connaissances de la microbiologie et de la biochimie des sols sableux tropicaux.

#### b/ - La demande en azote des olantes .

Par la confrontation de cette demande en azote avec le pouvoir alimentaire du sol, nous avons pu proposer une fertilisation azotée rationnelle pour les principales céréales de la zone tropicale sèche ; nous avons, en outre, montré l'importance de la restitution de **matière** organique dans **l'amélioration de la productivité de l'unité d'azote** et de la valeur nutritionnelle (du moins pour le mil) ; ces études nous ont amenés à approfondir nos connaissances :

1 - Sur l'action des facteurs "azote" et "matière organique" dans **l'élaboration** des diverses composantes du rendement ;

2 - De la gestion des résidus de récoltes à savoir la nature et les quantités disponibles en milieu rural, l'action de la nature (paille, compost, fumier) de la quantité (fumier) sur le **rendement** de la céréale.

### Deuxième phase : Economie de l'azote

La crise énergétique mondiale a conduit le Gouvernement du Sénégal en 1975, à travers les organismes de Développement et de Recherche agricole ISRA en particulier, à rechercher et promouvoir toutes les sources d'azote possibles autres que les engrais. Les conséquences de cette demande pressante ont été une réorientation - ou simplement une accentuation - de nos recherches sur les 3 grands thèmes suivants :

- l'efficacité maximale de l'azote-engrais ;
- la fixation biologique de l'azote de l'air ;
- la gestion des résidus de récolte.

Le souci de la Recherche agronomique au Sénégal depuis toujours a été la mise au point de techniques culturales (fertilisation azotée par exemple) fondées sur les 3 conditions suivantes :

- de maintien de la fertilité du sol ;
- d'intensification ;
- d'application possible en milieu paysan.

Afin de respecter ces 3 conditions et devant le risque de **recession** qui menace l'approvisionnement en engrais **azotés** des exploitations agricoles, nos programmes actuels de recherche sont les suivantes :

- 1 - Etude des techniques de fertilisation réduisant au maximum les pertes d'engrais azotés ;
- 2 - Techniques culturales **et** d'inoculations **bactériennes** susceptibles d'améliorer la fixation **symbiotique** de  $N_2$  de l'air par les légumineuses ;
- 3 - Recherche et **amélioration** des systèmes présumés fixateurs de  $N_2$  en place (riz pluvial-sol gris ; Acacia albida-mil-sol **dior**) ou possibles (**fixation** de  $N_2$  dans le compost) ;
- 4 - Utilisation optimale de la biomasse (**énergie** et amendement organique résultant du compostage **méthanogène**).

### 13 - POTENTIEL

Trois programmes de recherche sont conduits à l'**ISRA** conjointement avec l'**IRAT**. Le premier (F. **GARRY**) étudie l'aspect "efficacité de l'azote et gestion des résidus de récolte", le deuxième (L. **SARR**) étudie l'aspect "Biogaz-recyclage organique" et le troisième (J. **WEY**) étudie spécifiquement "l'inoculation et la fixation symbiotique de l'azote".

Ces trois programmes **répondent** à notre souci d'économie de l'azote **évoqué** ci-dessus au paragraphe A.

**LES PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS**

**1967 - 1981**

A - INTENSIFICATION DES CULTURES ET OPTIMISATION DE LA PRODUCTIVITE DE L'UNITE D'AZOTE : DEFINITION DE LA FUMURE AZOTEE SUR CEREALES DE SOL SABLEUX ET SABLO-ARGILEUX (BLONDEL, 1971 ; GANRY, 1973)

La définition rationnelle de la fumure azotée des céréales repose sur la confrontation des besoins de la plante à chacun des stades de son développement (demande) et des quantités d'azote minéral disponibles dans le profil cultural (offre).

Nos études (BLONDEL, 1971) ont donc consisté en l'établissement :

- d'une part de la mobilisation de l'azote par la céréale pour une culture bien conduite ;
- d'autre part de la dynamique de l'azote minéral dans le sol.

1 - MOBILISATION DE L'AZOTE POUR LES CEREALES LES PLUS CULTIVEES AU SENEGAL

11 - Résultats

111 - Mil sélection locale, cultivé à Séfa

Pour un rendement grain de 3310 kg/ha, la quantité d'azote mobilisée est 132 kg/ha. Cette mobilisation d'azote ne devient importante qu'après les 40 premiers jours de culture, durant la période qui s'échelonne du 1-F août au 14 septembre et qui correspond à la montaison. Le taux de mobilisation d'azote exprime en kg/ha/jour est alors maximum: 2,4 kg/ha/jour.

112 - Mil cycle long cultivé à Bambey

Pour un rendement grains de 2200 kg/ha, la quantité d'azote mobilisée est de 92 kg/ha. Le taux de mobilisation maximum est inférieur au mil de Séfa (1,5 kg/ha/jour).

113 - Mil variété souna à cycle court cultivé à Bambey

Pour un rendement grain de 1930 kg/ha, la quantité d'azote mobilisée est de 79 kg/ha. Le taux de mobilisation maximum est supérieur au mil de Séfa (2,9 kg/ha/jour).

114 - Sorgho variété 51-69 cultivé à Nioro

Pour un rendement grain de 4000 kg/ha, la quantité d'azote mobilisée est de 134 kg/ha. L'accroissement Journalier du taux de mobilisation d'azote pour cette variété est assez régulier et sa valeur maximum est inférieure à celle du mil souna (2,2 kg/ha/jour).

115 - Maïs variété ZM 10 cultivé à Séfa

Pour un rendement grain de 5440 kg/ha, la quantité d'azote mobilisée de 129 kg/ha.

Le taux de mobilisation de l'azote accuse une augmentation très nette à partir du premier mois de végétation, du 13 août au 25 août. Il est alors maximum: 5,0 kg/ha/jour.

## 116 - Riz pluvial variété T (N)1 cultivé à Séfa

Pour un rendement grain de 4240 kg/ha, la quantité d'azote mobilisée est de 74 kg/ha.

Le taux de mobilisation pour cette variété accuse une augmentation très nette après le 50e Jour de végétation ; du 20 au 27 septembre. Le taux de mobilisation est alors maximum : 3,5 kg/ha/jour.

## 12 - Discussion

Nous retiendrons d'après ce qui précède, 3 caractéristiques qui permettent de différencier les céréales en ce qui concerne leur nutrition azotée.

### 121 - Mobilisation globale

Nous pouvons distinguer, sur ce critère, deux groupes de céréales : l'un à mobilisation élevée (121 kg/ha à 138 kg/ha) qui comprend le maïs et le sorgho ; l'autre à mobilisation plus faible (7% kg/ha à 92 kg/ha) qui comprend le mil et le riz.

### 122 - Maximum du taux de mobilisation de l'azote

La quantité maximum d'azote mobilisée par la culture permet d'apprécier les besoins instantanés d'une culture. Ce critère permet de distinguer 3 groupes :

- taux de mobilisation faible : Sorgho
- taux de mobilisation de valeur intermédiaire : Mil souba
- taux de mobilisation élevée : Maïs et Riz.

L'époque de ce taux de mobilisation maximum est aussi à retenir. Elle correspond à la montaison, sauf chez le riz où la mobilisation la plus importante se situe à l'épiaison.

### 123 - Indice d'efficacité de l'azote

Cet indice est le rapport entre la quantité de grain produit et la quantité d'azote mobilisé. Il définit donc la quantité de grain produit par unité d'azote mobilisé par la culture.

Cet indice permet de distinguer 3 groupes :

- indice bas : Mil et sorgho
- indice intermédiaire : Maïs
- indice élevé : Riz

## 13 - Conclusions pratiques

La mobilisation globale en azote d'une culture ne permet pas d'apprécier la réponse à la fumure azotée.

### 131 - Dans la zone écologique de Séfa

Nous obtenons en essai de fertilisation azotée une très forte réponse à l'azote du maïs, (mobilisation 129 kg/ha) et du riz (mobilisation 74 kg/ha), alors que nous n'obtenons aucune réponse à la fumure sur mil mobilisant 132 kg/ha.

Une différenciation entre ces deux groupes, non homogènes si l'on prend comme critère la mobilisation globale en azote, est mise en évidence par le taux maximum journalier de mobilisation d'azote, compris entre 3,5 et 5 pour le groupe maïs et riz et 2,4 pour le groupe mil.

L'alimentation azotée du maïs et du riz n'est donc pas limitée par le stock initial d'azote minéralisable du sol mais par la vitesse de minéralisation de cet azote minéralisable. A Séfa, il est donc possible d'atteindre le maximum de rendement du maïs et du riz que si l'on apporte une fumure azotée suffisante et bien répartie suivant les phases de développement.

132 - De même, il est possible d'établir pour la zone écologique de Bambey, une distinction entre le mil cycle court et le mil cycle long d'après la valeur maximum du taux de mobilisation journalier. Celle-ci est nettement plus élevée pour la variété cycle court. Nous obtenons dans les essais fertilisation des accroissements de rendement élevés consécutifs à l'apport d'azote sur la variété à cycle court?, alors qu'ils sont souvent négligeables sur la variété à cycle long.

## 2 - DYNAMIQUE DE L'AZOTE EN SOL SABLEUX EXONDE

Nos études ont porté sur les trois zones écologiques les plus représentées au Sénégal : Bambey, Nioro et Séfa;

### 21 - Point communaux trois zones écologiques

#### 271 - Deux phases de minéralisation

L'évolution de l'azote au cours du cycle pluviométrique peut se subdiviser en deux grandes phases : une première phase caractérisée par un pic de minéralisation et une deuxième phase pendant laquelle la minéralisation est ralentie, voire nulle.

#### 1a/

La première pluie qui met fin à l'année saison sèche, au cours de laquelle l'activité microbienne est nulle en raison de l'état de dessiccation très prononcée du sol, déclenche la phase de minéralisation.

Sous l'action de cette "flambée" de l'activité biologique, le stock de matière organique minéralisable décroît très vite. La deuxième phase apparaît selon l'année et le lieu entre le 15<sup>e</sup> et le 40<sup>e</sup> jour après la première pluie.

#### 212 - Le lessivage

En présence d'azote sous forme lessivable (nitrate, urée) le lessivage est le processus d'évolution de l'azote prépondérant dans ces types de sols sableux.

### 22 - Bambey - Solferrugineux tropical peu lessivé de type "dior"

Nous verrons successivement les 4 principaux facteurs de la dynamique de l'azote :

- 1 la minéralisation
- l'immobilisation
- la nitrification
- le lessivage.

### 221 - La minéralisation

Elle est maximum dans la période qui suit la réhumidification du profil alors que les besoins de la culture de mil son faibles (0,8 kg d'azote/ha/j) jusqu'au 28e jour du cycle, soit une immobilisation pendant cette période de 22 kg N/ha. Au cours de la deuxième phase, alors que la minéralisation nette est nulle, le mil mobilise une importante quantité d'azote (50 kg/ha/jour entre le 28e jour du cycle et le 40e jour pour un rendement de 1930 kg/ha de grain). La minéralisation se poursuit sur les parcelles cultivées en mil grâce à un effet spécifique du mil sur l'activité minéralisatrice.

### 222 - La nitrification

Au cours de la première phase, l'ammoniacque est progressivement nitrifié; on observe un léger retard de la nitrification par rapport à l'ammonification.

Lors de la deuxième phase, la nitrification nette est nulle. L'azote ammoniacal qui apparaît dans le profil à la suite d'apport d'engrais n'est pas nitrifié. Néanmoins, nous avons montré qu'il existait une activité nitrifiante dans la rhizosphère du mil (GANKY, 1973).

### 223 - L'immobilisation (ou stockage biologique de l'azote dans le sol)

L'immobilisation est prépondérante en deuxième phase lorsqu'on apporte un engrais azoté. Cet azote immobilisé est libéré par la culture de mil.

### 224 - Le lessivage

Dans ce sol le lessivage de l'azote est finalement limité par l'activité nitrifiante; celle-ci n'est importante qu'au cours de la première phase. Il constitue alors un facteur prépondérant de la dynamique de l'azote dans ce type de sol.

## 23 - Nioro - Sol ferrugineux tropical lessivé

Comme pour Bambey nous verrons successivement les trois processus du cycle interne de l'azote dans le sol.

### 231 - Minéralisation - nitrification

Dès la première pluie, alors que le seul horizon superficiel est réhumidifié, l'azote minéral atteint sa valeur maximum (100 kg/ha).

Ensuite, on observe une décroissance rapide de la quantité d'azote minéral (observations faites en 1969). Au cours de cette période, on note une variation du rapport azote nitrique/azote ammoniacal comme le montre le tableau ci-dessous.

N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7-7	21-7	24-7	4-8	13-8
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,5	0,6	4,1	4,0	5,5

Ce rapport traduit la prépondérance de l'activité nitrifiante dans le sol à partir du 24 juillet.



### 232 - Immobilisation

En parcelle nue, un apport d'engrais en deuxième phase stimule la minéralisation. L'immobilisation n'est donc pas comme à Bambey un phénomène prépondérant en deuxième phase.

En parcelle cultivée en sorgho, on observe un blocage de l'azote minéral par la microflore du sol. L'azote ainsi réorganisé doit être bloqué sous forme labile et facilement minéralisable.

### 235 - Lessivage

La prépondérance de la nitrification pendant la saison pluvieuse est à l'origine de pertes importantes d'azote dans les horizons profonds que seul le système racinaire peut limiter par absorption et immobilisation rhizosphérique.

## 24 - Séfa - Sol ferrugineux tropical lessivé dit beige

### 241 - Minéralisation - nitrification

Le pic de minéralisation nette apparaît dans un délai annuellement variable après la première pluie (18e jour en 1967). La quantité d'azote minéralisé atteint une valeur moyenne de 150 kg/ha.

L'azote minéralisé est nitrifié immédiatement après l'ammonification. En deuxième phase, la quantité d'azote minéral est toujours décroissante et même rapidement nulle pour l'horizon de surface. Le 19 Août la quantité d'azote minéral dans l'horizon 0-20 est très faible alors que le taux de mobilisation de l'azote par le maïs est plus élevé.

## 3 - PROPOSITION POUR UN SCHEMA DE FERTILISATION EN CULTURE SEMI-INTENSIVE

Les données du paragraphe précédent permettent de définir un schéma de l'évolution de l'azote minéral que nous pouvons confronter à la courbe de mobilisation de l'azote par la culture de céréales.

### 31 - Bambey - Bil cycle court. (Souma)

Le fractionnement en fonction des différentes phases du cycle végétatif s'opère de la manière suivante :

- semis précoce ;
- premier apport d'une 25 unités d'azote au 16e jour après la levée au début de la phase tallage ;
- deuxième apport d'une 25 unités d'azote au 45e jour après la levée, en fin de montaison, afin de satisfaire les besoins en azote de la culture pendant l'épiaison et la floraison.

Ce schéma de fertilisation testé en 1969, donne le résultat suivant :

- Témoin sans azote : 2020 kg/ha
- Apport d'azote fractionné : 2507 kg/ha

La productivité de l'unité d'azote : 15, obtenue par cette méthode d'apport de l'engrais est très bonne.

Cependant ce schéma n'est pas définitif, il devra être adapté aux nouvelles variétés de mil à paille courte et à cycle plus réduit, actuellement en cours de sélection et tenir compte des besoins de ces nouvelles variétés.

### 32 - Niono - Sorgho 51-66

Comme pour le mil nous proposons :

- semis précoce ;
- premier apport d'urée:25 unités d'azote au 15e jour après levée ;
- deuxième apport d'urée:50 unités d'azote au 65e jour après la levée.

Ce schéma de fertilisation testé en 1969 a permis d'accroître le rendement qui passe de 1639 kg/ha sans azote à 3966 kg/ha avec azote.

### 33 - Séfa - Maïs ZM 10

Nous avons vu qu'à Séfa, l'alimentation azotée du mil variété locale est correctement assurée. Par contre, la demande du maïs est supérieure à l'offre par le sol, d'où le schéma de fertilisation suivant :

- premier apport de sulfate d'ammoniaque:25 unités d'azote au semis ;
- deuxième apport d'urée au 25e jour après la levée : 50 unités d'azote
- troisième apport urée au 40e jour après la levée : 50 unités d'azote.

Ce schéma de fertilisation testé en 1969 a permis d'obtenir un rendement grain de 5440 kg/ha.

### 34 - Apport d'engrais azoté au semis

Sur des céréales, une dose d'azote starter d'environ 15 # est apportée grâce à l'engrais ternaire NPK. Dans l'état actuel de nos connaissances, nous pensons qu'il est plus important d'assurer un apport de soufre d'environ 10 # que l'apport # starter sauf pour le maïs où les besoins de la plante en azote se font sentir immédiatement après la levée.

## 5 - ECONOMIE DE L'AZOTE

La charte des engrais azotés d'une part et d'autre part le souci d'atteindre l'autosuffisance alimentaire au Sénégal, exigeaient que soient mises en oeuvre toutes les techniques de culture permettant d'améliorer l'économie de l'azote dans l'exploitation agricole.

La maîtrise de l'économie de l'azote, et en particulier de la fertilisation azotée, repose sur la connaissance des termes du bilan azoté avec précision par recours au marquage à l'azote quinze.

### 1 - BILAN N-ENGRAIS AU CHAMP

#### 11 - Bilan 15<sub>q</sub>-urée sur maïs et mil

L'urée est apportée selon la modalité d'apport définie au chapitre A

##### - Maïs à Nioro (isohyète 900 mm) - 1976

Moyenne de 42 parcelles  $\pm$  intervalle de confiance à P 0,05

- Plante totale : 34,9  $\pm$  1,6 C.V.=15 %
- Sol (sur 1,20 m) : 29,6  $\pm$  1,8 C.V.=19 % (de 3 à 5 %  
N-engrais immobilisé dans l'horizon  
80-120 cm)
- Déficit de bilan : 35,3  $\pm$  2,0 C.V.=18 %

Les pertes seraient dues principalement à la volatilisation de l'ammoniac se produisant à la surface du sol au moment de l'hydrolyse de l'urée.

En raison de l'importance de ces pertes, nous recommandons d'enfouir l'urée au moins 5 cm de profondeur et pour le deuxième épandage, si possible au moment du billonnage du maïs.

##### - Mil à Bambey (isohyète 600 mm)

En 1972 sur mil Souna, nous avons mis en évidence des pertes de 24 % de l'engrais apporté à 50 # (37 % dans la plante et 39 % dans le sol 0-90 cm) et de 45 % de l'engrais apporté à 120 # (28 % dans la plante et 27 % dans le sol 0-90 cm).

En 1975, sur mil BAM, ces pertes étaient de 17 % à 30 # et 26 % à 60 # (dans ce dernier cas nous avons 23 % dans la plante et 51 % dans le sol 0-120 cm). Ces pertes étaient nettement réduites sur les parcelles fumées annuellement par une forte dose de compost, ce qui s'expliquerait par une augmentation du pouvoir tampon du sol. (En moyenne la somme des bases échangeables (S) augmente significativement de 1,32 à 1,82 meq/100 g et la capacité totale d'échange (T) de 1,69 à 2,09 meq/100 g sous l'action de l'amendement organique).

Les pertes d'azote-engrais (urée) en conditions de culture actuelles vulgarisées sont donc importantes : environ 25 % pour le mil à la fumure de 50 # et 35 % pour le maïs à la fumure de 100 # ; il semblerait qu'elles soient liées à la dose d'N-engrais reportées :

<u>Dose N-engrais</u>	<u>Céréales</u>	<u>Pertes N-engrais</u>	<u>Nb. répétitions</u> (parcelles)	<u>Année</u>
30 N	Mil GAM	17 %	4 répétitions	1975
50 N	Mil SOUNA	24 %	2 répétitions	1972
50 N	Mil GAM	26 %	4 répétitions	1975
100 N	Maïs	35 %	42 répétitions	1978
120 N	Mil Souna	45 %	2 répétitions	1972

Les pertes N-engrais mesurées en lysimètres sont comprises entre 15 et 50 % de l'engrais apporté (5 années de résultats).

## 12 - Etude de la volatilisation

Nous n'avons pas fait de mesures directes de la volatilisation au champ, mais nous les avons faites en laboratoire où nous avons reproduit les conditions du champ. Voici, résumés, l'expérience et les résultats.

Grâce à un dispositif de piégeage de l'ammoniac dans une solution d'acide borique, on a pu étudier les principaux facteurs qui influencent la volatilisation à partir de l'urée apportée au sol.

### Influence de la nature du sol

Plus le sol est sableux, plus intense est la volatilisation. Le pourcentage d'azote-engrais volatilisé pour les sols d'or (Bambay), beige (Séfa) et noir (Sébikotane) est respectivement de  $40 \pm 4 \%$ ,  $23 \pm 4 \%$  et  $15 \pm 7 \%$ .

### Influence du mode d'apport de l'urée

L'enfouissement de l'urée dans le sol réduit significativement les pertes à partir de 1,5 cm de la surface. Le pourcentage de l'azote-engrais volatilisé est respectivement pour l'urée en surface, enfouie à 1,5 cm, enfouie à 2,5, enfouie à 3,5 cm et enfouie à 5 cm, de  $40 \pm 4 \%$ ,  $18 \pm 6 \%$ ,  $10 \pm 2 \%$ ,  $4 \pm 3 \%$  et 0 %. (Le résultat est assorti de l'écart type).

Compte tenu de ces résultats, on peut donc admettre que l'essentiel des pertes mesurées en lysimètres et au champ, est dû à la volatilisation.

## 13 - Influence du mode d'apport du fumier sur le bilan de l'N-urée

L'épandage du fumier, par rapport à l'enfouissement, accroît les pertes d'N-engrais (urée) (GARRY et GUIRAUD, 1979).

## 2 - QU'EN EST-IL DE L'APPLICATION D'ENGRAIS AZOTES EN MILIEU REEL ?

Le tableau 1 met en évidence que les quantités d'urée apportées en milieu paysan sont nettement en dessous des quantités préconisées.

Tableau 1 : Fumure azotées appliquées sur les principales cultures au Sénégal (exprimées en kg N/ha) (d'après fiches techniques pour l'expérimentation agronomique - Campagne 1980-1981).

<u>Culture</u>	<u>Fertilisation recommandée (1)</u>			<u>Réellement apporté (2)</u>
	<u>Faible</u>	<u>Intermédiaire</u>	<u>Intensive</u>	
Mil	20	50	85	12
Sorgho	20	60-85	110	-
Maïs	55	105	160	50
Coton	35	35	70	12
Riz pluvial	35	60-85	110	-
Riz inondé	-	50	-	20

A l'échelle de l'Afrique de l'Ouest, les quantités d'azote utilisées, en milliers de tonne d'unités fertilisantes d'azote ont été de 19,2 (dont 11 pour le Sénégal) en 1975 ; elles étaient prévues de 43,0 (dont 25 pour le Sénégal) en 1980. 35 % de cet azote, en gros, est utilisé sous forme d'urée au Sénégal, ce qui faisait pour ce pays en 1980 une prévision de consommation de 19.000 t soit une valeur de 700 millions de F CFA sur la base des prix 1975 (source IFDC). En 1981-82, le Sénégal a commandé 10.000 t d'urée, soit un tonnage nettement inférieur aux prévisions.

### 3 LES SOLUTIONS D'AVENIR

#### 31 - Prendre en compte les contraintes agro-socio-économiques

La méthode de raisonnement de la fumure doit prendre en compte simultanément les contraintes et conditions majeures à l'application de l'engrais. Il s'agit de la contrainte économique, de la condition d'incitativité à la fumure et de la contrainte de restitution. Cette méthode a été appliquée à la fumure azotée et potassique du mil au Sénégal (PIERI et al, 1978). Elle est générale et applicable à tous les cas de courbe de réponse d'expression mathématique simple, et notamment de type quadratique. Elle permet de savoir sur quels paramètres (prix, dose d'engrais, méthodes culturales) on peut agir pour satisfaire les contraintes agro-socio-économiques.

#### 32 - Promouvoir la fixation de N<sub>2</sub> et le recyclage organique

Face à cette recession dans l'approvisionnement et les apports au champ d'engrais azoté, la Recherche agronomique au Sénégal essaient de mettre au point des systèmes culturaux céréales-légumineuses dans lesquels l'intrant engrais azoté est réduit au maximum. De tels systèmes culturaux, en l'occurrence "maïs-soja" sont actuellement à l'étude en Casamance. En voici les premiers résultats (GANRY 1981).

#### Effet de la fumure organique du soja inoculé

Les résultats de rendement du soja mettent en évidence une réponse significative croissante du soja à la fumure organique constituée d'un compost de paille de mil, dès la dose de 1,5 t M.S./ha et jusqu'à 6 t M.S./ha.

Les résultats de rendement du maïs suivant le soja dans la rotation, permettent de scinder les doses d'enfouissement de compost sur soja, en 3 catégories en fonction de leur arrière effet sur maïs :

- sans enfouissement ;
- 1,5 à 3 t/ha ;
- 4,5 à 6 t/ha.

La réponse du maïs au compost enfoui sur soja est significativement positive dès la dose de 1,5 t.M.S/ha.

On remarque les équivalences de rendement pour les systèmes culturaux suivants :

---

\* Développée dans Agron. Trop. XXXIII 1 (1978).

Équivalence 1

Maïs sans engrais azoté venant après un soja ayant reçu de 1,5 à 3 t M.S. compost/ha	↔	Maïs avec engrais azoté (100 N) venant après un soja sans fumure organique
--	---	--

Équivalence 2

Maïs sans engrais azoté venant après un soja ayant reçu de 4,5 à 6 t M.S. compost/ha	↔	Maïs avec engrais azoté (100 N) venant après un soja ayant reçu 3 t M.S./ha de compost.
--	---	---

La première équivalence est la plus intéressante puisqu'elle montre qu'une dose de compost comprise entre 1,5 et 3 t M.S./ha, permet d'acquiescer les rendements du soja comme nous l'avons vu, et d'entraîner sur le maïs suivant un effet résiduel positif équivalent à une fumure azotée minérale de 100 kg N/ha appliquée à un maïs venant après un soja sans fumure organique. (Notons qu'une culture de maïs dont le rendement grain a été de 2200 kg/ha et dont la paille a été récoltée et compostée en fosse a fourni environ 2 t M.S./ha de compost).

En conclusion, la première analyse des rendements faite depuis la mise en place du système cultural soja (année 1) - maïs (année 2) a montré que moyennant l'inoculation et la fumure organique du soja ainsi que l'apport d'une fumure P K sur soja et maïs, il était possible, sans input d'engrais azotés, de faire une culture intensive de soja (rendement en grain supérieur à 2 t/ha) suivie d'une culture semi-intensive de maïs (rendement grain compris en 1 t et 2 t/ha). Certes la conclusion quant à la validité agronomique d'un tel système cultural est provisoire ; seule l'interprétation pluriannuelle, prenant en compte la fertilité azotée du sol, permettra de formuler une conclusion sûre.

32 - Mieux connaître l'évolution du statut azoté dans le système sol/plante

Un des éléments les plus importants régissant l'économie de l'azote est de savoir si dans un système cultural donné, le sol s'enrichit ou s'appauvrit en azote.

L'exemple donné au tableau 2 concerne un système arachide-mil à Bamboey (Sénégal). Les mesures ont été faites, grâce à l'azote 15, sur une courte période (1 an).

Le bilan azoté résultant du tableau 2 est négatif car il montre un déficit de l'ordre de 70 kg N/ha pour 2 ans, soit 35 kg N/ha/an.

On peut penser qu'un tel système cultural produit au départ un capital de fertilité du sol et tend pour cette raison vers un équilibre dans lequel la production végétale sera nécessairement diminuée (réduction des pertes par exportation) par rapport à la production actuelle. La fertilité azotée du sol sera maintenue au prix d'un input net d'azote au système de 35 kg N/ha/an ou d'une réduction équivalente des pertes d'azote.

Équivalence 1

maïs sans engrais azoté venant après un soja ayant reçu de 1,5 à 3 t M.S. compost/ha	⇔	maïs avec engrais azoté (100 N) venant après un soja sans fumure organique
--	---	--

Équivalence 2

maïs sans engrais azoté venant après un soja ayant reçu de 4,5 à 6 t M.S. compost/ha	⇔	maïs avec engrais azoté (100 N) venant après un soja ayant reçu 3 t M.S./ha de compost.
--	---	---

La première équivalence est la plus intéressante puisqu'elle montre qu'une dose de compost comprise entre 1,5 et 3 t M.S./ha, permet d'augmenter les rendements du soja comme nous l'avons vu, et d'entraîner sur le maïs suivant un effet résiduel positif équivalent à une fumure azotée minérale de 100 kg N/ha appliquée à un maïs venant après un soja sans fumure organique. (Notons qu'une culture de maïs dont le rendement grain a été de 2200 kg/ha et dont le paille a été récoltée et compostée en fosse a fourni environ 2 t M.S./ha de compost).

En conclusion, la première analyse des rendements faite depuis la mise en place du système cultural soja (année 1) - maïs (année 2) a montré que moyennant l'inoculation et la fumure organique du soja ainsi que l'apport d'une fumure P K sur soja et maïs, il était possible, sans input d'engrais azotés, de faire une culture intensive de soja (rendement en grain supérieur à 2 t/ha) suivi d'une culture semi-intensive de maïs (rendement grain compris en 1 t et 2 t/ha). Certes la conclusion quant à la validité agronomique d'un tel système cultural est provisoire ; seule l'interprétation pluriannuelle, prenant en compte la fertilité azotée du sol, permettra de formuler une conclusion sûre.

32 - Mieux connaître l'évolution du statut azoté dans le système sol-plante

Un des éléments les plus importants régissant l'économie de l'azote est de savoir si dans un système cultural donné, le sol s'enrichit ou s'appauvrit en azote.

L'exemple donné au tableau 2 concerne un système arachide-maïs à Bamboey (Sénégal). Les mesures ont été faites, grâce à l'azote 15, sur une courte période (1 an).

Le bilan azoté résultant du tableau 2 est négatif car il montre un déficit de l'ordre de 70 kg N/ha pour 2 ans, soit 35 kg N/ha/an.

On peut penser qu'un tel système cultural produit au dépeupement du capital de fertilité du sol et tend pour cette raison vers un équilibre dans lequel la production végétale sera nécessairement diminuée (réduction des pertes par exportation) par rapport à la production actuelle. La fertilité azotée du sol sera maintenue au prix d'un input net d'azote au système de 35 kg N/ha/an ou d'un réduction équivalente des pertes d'azote.

Tableau 2 : Bilan azoté dans un système cultural en conditions semi-arides : arachide-mil au centre agronomique de Bambay-Sénégal (GARRY, non publié)

Gain d'azote dans les pools sol et plante

- précipitation	négligeables
- engrais apportés	
. au mil	+ 36
. à l'arachide	+ 15
- fixation de $N_2$	
. symbiotique	+ 82

Pertes d'azote hors des pools sol et plante

- exportations	
. par le mil	- 33
. par l'arachide	-109
- dénitrification et volatilisation de N à partir :	
. de l'azote du sol	- 50
. des résidus organiques	- 8
. des engrais	- 28
- lessivage	- 20
Bilan	- 71

---

Les résultats du tableau 2 ont été explicités dans le chapitre "Nitrogen balance in tropical agrosystems" du livre "Microbiology of tropical Soils". Y.R. DUMERGUES and H.G. DIEF eds. Martinus Nijhoff, the Hague (1982).



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

BLONDEL D., 1971

Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral :  
 - en sol sableux "Dior"  
 - en sol ferrugineux tropical à Nioko du dip  
 - en sol ferrugineux tropical à Séfa  
 L'Agron. Trop., VOL XXVI, n° 12.

BLONDEL D., 1971

Contribution à l'étude de la croissance matière sèche et de l'altération azotée des céréales de culture sèche au Sénégal.  
 L'Agron. Trop., Vol XXVI, n°6-7.

BLONDEL D., 1971

Rôle de la plante dans l'orientation de la dynamique de l'azote minéral en sol sableux.  
 Agron. Trop., 26 (12), 1362-1371.

GARRY F., 1973

Le problème de la date de semis du mil Pennisetum thyphoides en zone tropicale.  
 African Soils. O.A.U./S.T.R.C. Vol. XVII n°1-59-63.

GARRY (F.), GUIRAUD (G) et DOMMERGUES (Y), 1976

Effect of straw incorporation on the yield and nitrogen balance in the sandy soil-pearl millet cropping system of Senegal. Plant and Soils Vol 50, n°3.

GARRY (F) et GUIRAUD (G) 1979

Mode d'application du fumier et bilan azoté dans un système mil-Sol sableux du Sénégal.  
 Etude au moyen de <sup>15</sup>N  
 In : Isotope and Radiation in Research on Soil-plant Relationships. IAEA SM. 235/16.

GARRY (F) et BERTHEAU (I), 1980

Gestion des résidus de récolte et économie de l'azote au Sénégal. Séminaire régional FAO sur le recyclage organique en agriculture en Afrique de l'Ouest. 24-26 novembre in Lomé (Togo) - Bulletin pédologique de la F.A.O. n°47.

GARRY (F), 1981

Rapport annuel de la Division de Biochimie des sols Année 1980 - Programme ISRA 2/7 - Doc. Ronéo CNRA de Banjul (Sénégal) - 9 p.