

IS 920/194



INSTITUT SENEGALAIS DE  
RECHERCHES AGRICOLES

---

## ETUDES ET DOCUMENTS

---

**RECHERCHE  
DE FORMULES D'ENGRAIS N-P-K  
ECONOMIQUEMENT RENTABLES  
POUR LA CULTURE DU MAÏS PLUVIAL**

**Mamadou NDIAYE et Mamadou SIDIBE**

**ISRA**

Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

Rue Thioung x Diaraf Assane Paye

BP. 3120

DAKAR, Sénégal

☎ (221) 21 24 25 / 2119 13

☎ Telex 61117 SG

☎ Fax (Tlc) (221) 34 13

Document réalisé par

le Bureau d'Analyses Macro-économiques

Roule du Front de Terre

B P. 2057

Dakar t lann

☎ 32 04 42

Mamadou Ndiaye

Ingénieur agronome

Chercheur de l'ISRA

Centre de Recherches Agricoles de Saint-Louis

Mamadou Sidibé

Agro-économiste

Chercheur de l'ISRA

Bureau d'Analyses Macro-économiques

Remerciements

**Cette étude** est menée dans le cadre d'initiation d'une partie du programme phytotechnie' sur le maïs pluvial entrepris à la station ISRA de NIORO Elle a été financée par **l'USAID** dans le cadre du **Projet** Recherche Agricole II au **Sénégal (SARII)**, à qui nous exprimons nos remerciements. Les auteurs remercient également **Mr** Lamine Diedhiou pour son **appui** technique sur l'analyse statistique, ainsi que Ibrahima Dioum et **Ganda Dème** pour leur assistance dans le suivi des essais.

## **SOMMAIRE**

1. **INTRODUCTION**
  
- II. **MATERIEL ET METHODE**
  - 2.1. **Dispositif expérimental**
  - 2.2. Condition de réalisation
  - 2.3. Analyses **effectuées**
    - 2.3.1. Agronomique
    - 2.3.2. Economique
  
- III. **RESULTATS • DISCUSSIONS**
  - 3.1. Aperçu sur la pluviométrie
  - 3.2. Aperçu sur les maladies et les insectes
  - 3.3. Analyse du sol
  - 3.4. Rendement-grain
    - 3.4.1. Recherche de **l'élément** le plus limitant du rendement
    - 3.4.2. **Interprétation** graphique
    - 3.4.3. Analyse **économique**
    - 3.4.4. Analyse statistique
  
- IV. **CONCLUSION**
  
- REFERENCES**

## **I. INTRODUCTION - OBJECTIF**

Le maïs était cultivé autour des cases, mais depuis une dizaine d'années sa culture se fait en plein champ grâce aux résultats **déjà** très prometteurs obtenus par la recherche agronomique (surtout en matière de génétique et d'amélioration du **maïs** pluvial et aussi **grâce à** l'encadrement fourni par les Sociétés de **Développement** dans les **régions** de : Ziguinchor, **Kolda**, Tambacounda, Kaolack et Fatick.

Cependant, l'aspect agronomique de la culture du maïs pluvial n'a pas été exploré au **même** degré que l'a été l'aspect génétique et amélioration. Cette situation se traduit par l'introduction du matériel végétal en milieu paysan avec des techniques culturales ne permettant pas souvent l'expression du potentiel optimum du rendement ou tout simplement inappropriées.

L'objectif de l'expérimentation est de rechercher les doses optimales en **éléments** fertilisants N, P, et K, pour les productions du maïs pluvial dans le cadre d'une rotation Arachide-Maïs.

## **II. MATERIEL ET METHODE**

L'essai a été implanté **à Paoskoto (Département de Nioro)** sur un sol de type ferrugineux tropical avec tâches et concrétions ferrugineuses, sur sable ou grés sablo-argileux, et cuirasse pouvant affleurer (**Piéri, 1969**). L'essai a **été** conduit dans le cadre d'une rotation Arachide-Maïs. C'est ainsi qu'en 1990, le précédent **cultural** est la variété d'arachide 73-33.

### **2.1 Dispositif expérimental**

Le dispositif expérimental est un arrangement composé rotatif central ("Central Composite Design") base sur **l'hypothèse** selon laquelle la **réponse** de surface peut être représentée par un

polynôme du second degré en dessous (Cochran and Cox, 1957).

$$Y = b_0 + b_1N + b_2P + b_3K + b_4N^2 + b_5P^2 + b_6K^2 + b_7NP + b_8Nk + b_9PK$$

où N, P, et K représentent les doses respectives d'azote, de phosphore et de potassium et où  $b_1, \dots, b_9$  sont les coefficients du polynôme du second degré.

Les doses d'engrais des trois éléments : N, P, et K sont indiquées dans le tableau 1.

Les essais factoriels sont souvent utilisés en matière de recherche sur la fertilisation des cultures. Cependant le dispositif factoriel aboutit à un nombre excessif de traitements lorsque le nombre de facteurs ou de niveaux augmente.

**TABLEAU 1 : DOSES D'ENGRAIS**

	Eléments fertilisants		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
D o s e s	0	0	0
e n	50	30	40
K	150	70	110
g	250	110	180
/ h a	300	140	220

Cochran et Cox (1957) ont reporté un dispositif central et rotatif qui donnait un nombre total de traitement de  $2^k + 2k + 1$  (où k = nombre de facteurs). Le centre de ce dispositif est répété six (6) fois pour avoir la même erreur standard des points équidistants du point central (une meilleure précision pour l'extension du paramètre étudié par la courbe de réponse surface).

## 2.2 conditions de l'essai

Les différents traitements indiqués dans le tableau 2 sont identifiés par un code compris entre -1,682 et +1,682. Le traitement (0,0,0) est le centre du dispositif.

L'azote est apporté sous forme d'urée (46%N) fractionné en 20% au semis, 40% au 27e jour et 40% au 41e jour. Le phosphore et le potassium sont apportés en une seule fois au semis sous formes de supertriple (45% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) et de chlorure de potassium (60% K<sub>2</sub>O) respectivement.

Chaque parcelle expérimentale est composée de 8 lignes de 10m de long et de 6,30m de large. Les écartements sont de 0,90m entre lignes et 0,25 entre poquets sur la ligne.

Le matériel végétal utilisé est la variété synthétique C d'un cycle de 90 jours (semis à la récolte).

Le labour avec reprise a été réalisé au début de cycle sur une profondeur de 20-25 cm. Il a été suivi d'un hersage. Le semis a été effectué à raison de 3 graines/poquet et le démariage à un pied par poquet a été effectué 15 jours après la levée.

## 2.3 Analyses effectuées

### 2.3.1 Analyses agronomiques

Des analyses chimiques du sol ont été effectuées avant l'implantation de l'essai (Ndiaye, 1990). A la récolte, le rendement en grain a été déterminé et l'analyse proposée ici est basée sur ces résultats.

### 2.3.2 Analyse économique

L'analyse économique proposée suit une démarche à trois temps. D'abord un budget partiel sera établi pour l'ensemble des

**TABLEAU 2 : MATRICE DES TRAITEMENTS DR L'ESSAI**

N° Traitement	Doses d'engrais			Echelle codifiée		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P	K
1	50	30	40	-1	-1	-1
2	250	30	40	1	-1	-1
3	50	110	40	-1	1	-1
4	250	110	40	1	1	-1
5	50	30	180	-1	-1	1
6	250	30	180	1	-1	1
7	50	110	180	-1	1	1
8	250	110	180	1	1	1
9	0	70	110	-1.682	0	0
10	300	70	110	1.682	0	0
11	150	0	110	0	-1.682	0
12	150	140	110	0	0.682	0
13	150	70	0	0	0	-1.682
14	150	70	220	0	0	1.682
15	150	70	110	0	0	0
16	150	70	110	0	0	0
17	150	70	110	0	0	0
18	150	70	110	0	0	0
19	150	70	110	0	0	0
20	150	70	110	0	0	0

traitements sur la base d'estimations de prix pour la récolte, **les** intrants agricoles et le travail familial. Ensuite l'analyse sera poursuivie par une évaluation de la rentabilité relative de chaque traitement dans le but de déterminer ceux qui présentent un intérêt économique particulier pour les producteurs. Enfin, pour chaque traitement économiquement intéressant, un taux marginal de rémunération sera calculé pour mesurer le gain additionnel espéré si ce niveau de fertilisation était adopté.

### III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

#### 3.1. **Aperçu sur la pluviométrie**

Un total de 429mm d'eau a été enregistré à Paoskoto. Cette pluviométrie (graphique 1) a été marquée par une première pluie de



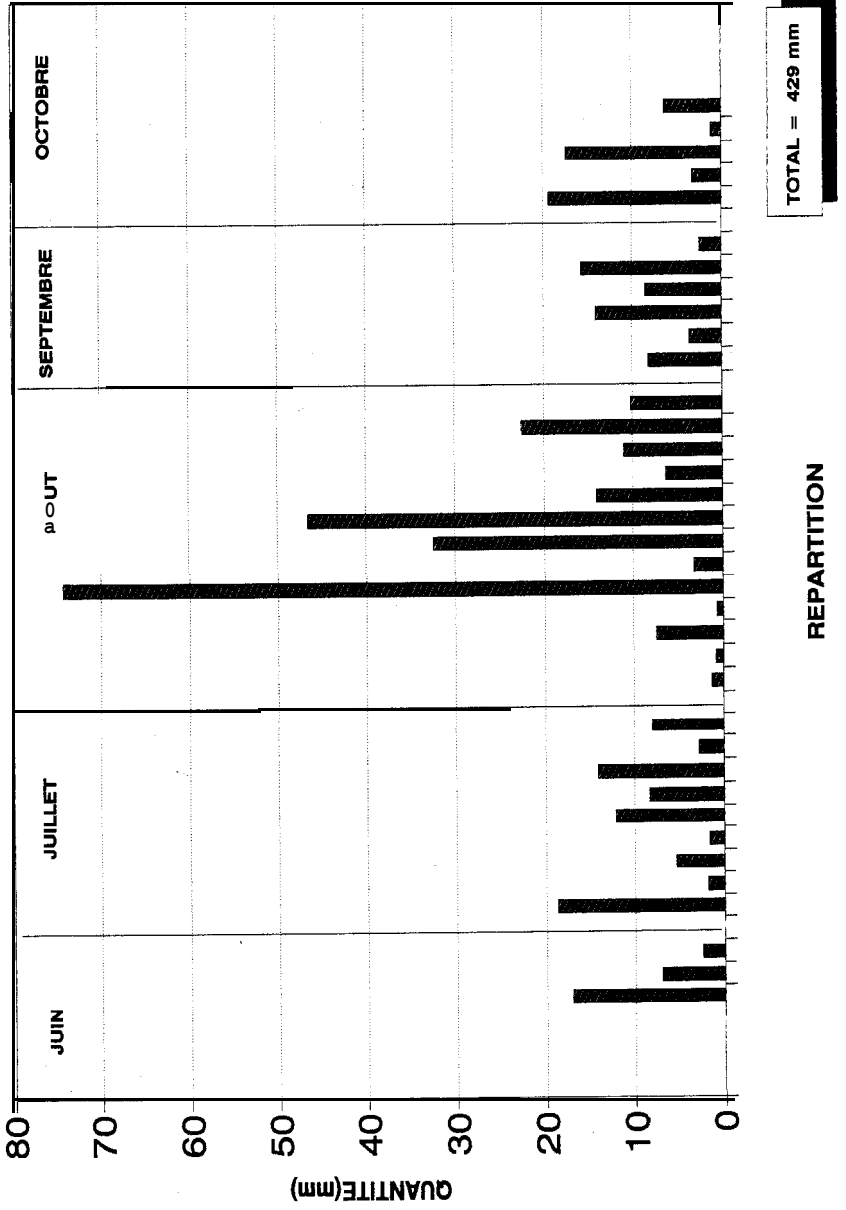
17mm tombée le 20 Juin suivie d'une dernière décade du mois très sèche. L'hivernage a réellement démarré le 4 Juillet avec 18,5mm d'eau. Cependant le mois de Juillet a été bien arrosé : 72,1mm en 9 jours. L'essai a été semé le 26 Juillet dans des conditions d'humidité ayant permis une bonne levée. Le mois d'Août a été relativement pluvieuse: 231,3mm en 13 jours : ce qui a permis une bonne croissance des plantes jusqu'au stade 6-8 feuilles. Le stade 8-10 feuilles jusqu'à l'apparition de l'épi femelle a été marqué par une sécheresse très sévère durant le mois de Septembre (surtout la dernière décade) ; on a enregistré un total de 52,2mm en 6 jours. Globalement la pluviométrie n'a pas été favorable pour l'obtention de bons rendements.

### 3.2. Aperçu sur les maladies et les insectes

En utilisant les guides pratiques sur les maladies et insectes nuisibles du maïs (Carlos De Leon, 1986, Alejandro Ortega, 1987) un inventaire a été entrepris. Au semis, des iules ont été rencontrées dont les dégâts peuvent se traduire par l'arrêt de la germination des graines. Elles ont été traitées au Furadan. Les dégâts causés par des perdrix de moindre importance ont été aussi observés. En cours de végétation certains insectes ont été identifiés ; il s'agit d'Héliothis zea (très répandu au moment de la floraison), des pucerons certainement du genre Rhopalosiphium maidis et des termites du genre Microtermis.

Certaines maladies fongiques causées par des micro-organismes ont été identifiées, parmi lesquelles on peut citer des taches foliaires dues à Curvularia lunata et des brûlures de feuilles dues à Helminthosporium maydis et Helminthosporium turcicum. Mais malgré la présence de ces maladies fongiques, l'incidence des micro-organismes sur les parcelles de maïs n'a pas été significative en 1990. En outre, quelques très rares cas de plantes atteintes de M.S.V., transmise par les Cicadelles (Cicadulina Sp) ont été enregistrés. On doit apporter, cependant une attention toute particulière à ces nuisibles du maïs, surtout les maladies

# LA QUANTITE DE PLUIE ET SA REPARTITION PAOSKOTO: 1990



fongiques car les conditions d'humidité du Sahel sont propices au développement des champignons. Dans ces conditions, les infections se font en un temps très court (Séré, 1984).

### 3.3. Analyse du sol

Les caractéristiques chimiques du sol d'expérimentation sont indiquées dans le tableau 3. Le Ph (eau) est faiblement à franchement acide. Cette acidité semble particulièrement marquée aux horizons 0-20cm et 0-40cm, zone de propagation des racines. Le sol est relativement bien pourvu en matière organique (MO) dans les vingt (20) premiers centimètres, mais le stock de MO du sol baisse rapidement en profondeur jusqu'à des niveaux d'équilibre très médiocres. Cette diminution du taux de MO vient de ce que les seules restitutions organiques aux sols dans les systèmes traditionnels sont celles des systèmes racinaires dont les tonnages sont faibles.

L'azote est un élément déterminant pour la croissance et le rendement des céréales; le maïs en particulier. La dynamique de l'azote dans le sol est étroitement liée au statut organique du sol. La carence chimique la plus fréquente des sols au Sénégal est celle du phosphore, il y a rarement plus de 350 mg de  $P_2O_5$  total par kg de terre (Nicou, 1975). Dans le sol de Paoskoto le phosphore total varie entre 213 et 270 mg de  $P_2O_5$  total par kg de terre, respectivement aux horizons 0-40cm et 0-100cm. Ce qui confirme les résultats obtenus par Nicou (1975). Des teneurs en potasse échangeables entre 0,03 et 0,20meq/100g de sol, quoique basses peuvent être suffisantes au début de la mise en culture, pour les besoins des plantes (Nicou, 1975). Dans le sol de Paoskoto, les teneurs en potasse échangeables varient entre 0,026 et 0,13meq/100g, donc comprises dans l'intervalle ci-dessus. La capacité d'échange cationique du sol varie entre 1,44 et 1,29meq/100g de sol. En effet, du fait de leur texture à dominante sableuse, les horizons superficielles du sol sont caractérisées par

Tableau 3 : Caracteristiquee du sol d'experimentation  
(moyenne de 3 echantillone)

Horizons cm	PH		C TOTAL	MO*	N TOTAL	C/N	P TOTAL	P' assim. ppm**	K TOTAL meq/100	Bases echangeables, meq/100g					
	eau	KCL								Ca	Mg	NA	K	Somme	CEC
0-10	6.1	5.5	3.94	6.77	0.33	12	0.365	13.27	2.057	0.98	0.35	0.032	0.056	1.42	1.44
0-20	5.6	5.0	3.47	5.96	0.30	11	0.384	10.17	2.415	0.83	0.33	0.031	0.034	1.22	1.14
0-40	5.5	5.0	2.67	4.59	0.25	11	0.296	9.9	3.001	0.94	0.37	0.034	0.137	1.48	1.29
0-60	5.9	5.5	2.22	3.81	0.22	10	0.362	7.1	2.919	1.04	0.47	0.029	0.039	1.58	1.52
0-80	6.1	5.2	2.31	3.97	0.24	10	0.370	5.5	2.937	1.08	0.74	0.027	0.026	1.87	1.72
0-100	5.5	5.1	2.29	3.93	0.24	9	0.382	4.7	3.228	1.29	0.86	0.032	0.107	2.29	1.92

Source: Diangar, 1989

\* MO = 1,72 \* C

• \* P assimilable = P.TRUOG ppm

une grande pauvreté qui s'explique par une surface 'colloïdale d'absorption limitée à cause de la prédominante kaolinite et ses quioxydes (Pieri, 1989). Les taux de calcium et de magnésium échangeables sont relativement faibles dans les horizons superficielles (jusqu'à 40cm de profondeur) et concurrent (surtout Ca) à une diminution du Ph dans ces horizons.

Compte tenu de la grande variabilité des sols et du climat dans les zones de la maïsiculture, il est difficile et hasardeux de faire des généralisations. On gagnerait donc à étendre ces types d'analyses physico-chimique du sol et à implanter des essais de fertilisation minérale du maïs pluvial dans les régions et sites à vocation maïsicole.

### 3.4. Rendement-grain

#### 3.4.1. Recherche de l'élément le plus limitant du rendement

Les résultats de rendement reportés dans les tableaux 4 et 5 permettent de tirer les conclusions suivantes :

- Le potassium a été le facteur le moins limitant du rendement étant donné que les rendements sous les traitements 150 - 70 - 110 et 150 - 70 - 0 sont de 1298 **kg/ha** et 944 **kg/ha**, soit une différence de 354 **kg/ha**.

- L'azote a été un facteur limitant du rendement puisque l'on a une différence de 584 **kg/ha** entre les traitements 150-70-110 et 0-70-110.

- Le phosphore a été le facteur limitant le plus caractéristique dans les conditions de culture du maïs à Paoskoto. Le traitement sans P(150-0-110) a été même inférieur (au plus

équivalent) au témoin **sans engrais** (0-0-0). On a noté une différence de 820 **kg/ha** entre 150 - 70 - 110 et 150 - 0 - 110.

Les analyses de sol reportées dans le tableau 3, aident à comprendre ces **résultats**. La teneur en  $P_2O_5$  (0,0057 à 0,013 ppm) est faible par rapport à la moyenne du Sénégal : 0.01 à **0,05** ppm (Tourte, 1952). Cette faiblesse pourrait expliquer la très forte prépondérance de l'action à **dominance phosphatée**. Par contre, le terrain d'expérimentation est assez bien **pourvu en  $K_2O$  : 0,026 à 0,137meq/100g** comparée aux valeurs courantes au Sénégal : 0.03 à **0,2meq/100g** considérées comme suffisantes pour les besoins des plantes (Nicou, 1975).

Pour l'azote, les analyses du sol nous manquent, mais nous pouvons remarquer un rapport C.N de **12/1** qui caractérise la plupart des **systèmes** pédologiques stables. Ainsi la teneur en matière organique (MO) est relativement **élevée** : 6 ppm du sol ; cette MO a été probablement minéralisée par les agents **microbiens** du sol en présence d'un peu d'azote minéral, libérant ainsi dans le sol des quantités importantes de nitrate pouvant atteindre 60 à **100kg N/ha** après la **première** pluie (BLONBEL, 1971). Ce qui pourrait expliquer la moindre prépondérance de l'action à **dominance** azotée, comparée à celle du phosphore.

#### 3.4.2. Interprétation graphique

Les éléments étudiés N, P, et K figurent dans les formules proposées (tableau 2), à des niveaux différents et variant pour l'azote (N) de 0 à 300 kgN/ha, pour l'acide phosphorique ( $P_2O_5$ ) de 0 à 140 kg  $P_2O_5$ /ha et pour la potasse ( $K_2O$ ) de 0 à 220 **kg $K_{20}$ /ha**.

TABLEAU 4': Effets de l'absence d'éléments fertilisants N-P-K sur le rendement-grain du maïs (variété Synthétic C) Paoskoto 1990

Eléments fertilisants			Rendement-grain Kg/ha
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
150	70	110	1298
0	70	110	714
150	0	110	478
150	70	0	944
0	0	0	589

TABLEAU 5 : Effets des engrais NPK sur le rendement en grain (Kg/ha) et % d'augmentation par rapport au témoin sans engrais Paoskoto 1990.

N° Traitement	ENGRAIS : Kg/ha			Rendt.- grain Kg/ha	% 'augmen- tion/ témoin
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
1	50	30	40	787	+ 35
2	250	30	40	1189	+102
3	50	110	40	1025	+ 74
4	250	110	40	1008	+ 71
5	50	30	180	911	+ 55
6	250	30	180	1067	+ 81
7	50	110	180	1525	+159
8	250	110	180	1003	+ 70
9	0	70	110	714	+ 21
10	300	70	110	1170	+ 99
11	150	0	110	478	- 19
12	150	140	110	869	+ 47
13	150	70	0	944	+ 60
14	150	70	220	1325	+125
15	150	70	110	1298	+120
(Témoin)	0	0	0	589	0

L'interprétation graphique proposée consiste à tracer la courbe moyenne des rendements d'un élément quand les deux autres sont maintenus constants. Il convient de signaler le fait que nous disposons pour le tracé des courbes que de trois (3) points correspondant aux doses expérimentées. L'examen des courbes qui suivent nous permet d'estimer les doses de N, P, et K qui procurent un rendement en grain optimum.

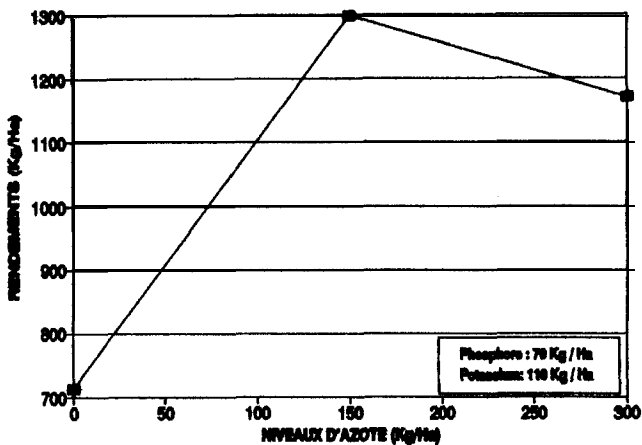
Les variations de rendements en fonction des trois (3) éléments N,  $P_2O_5$  et  $K_2O$ , sont représentés par les courbes indiquées dans les graphiques 2A à 2C. On peut les interpréter de la façon suivante :

- La courbe de N montre une légère augmentation du rendement avec l'accroissement de doses de N jusqu'à un maximum qui se situerait aux environs de 150 kg de N/ha. L'apport de 150 kg de N/ha, procure un gain de rendement de 582 Kg/Ha par rapport au témoin sans N. En effet le maïs exige des quantités considérables d'éléments fertilisants, d'azote en particulier : ses exportations se chiffrent a 30-35 kg de N/ha pour une récolte de 1000 kg/grain/ha (FAO, 1968) et 100 à 150 kg de N/ha pour une récolte de 5000 à 6000 kg/grain/ha (PRASAD, 1978). Or les sols ne peuvent en général assurer qu'un peu plus de 20 à 35% des besoins en N, par conséquent un apport substantiel de cet élément s'avère indispensable pour une production au moins soutenue. Un apport de 50 ou 150 kg de N/ha nous semble justifié, sans toutefois perdre de vue que des méthodes d'application de l'azote (application localisée par exemple) doivent être investigudes pour une meilleure efficacité des engrais azotes.

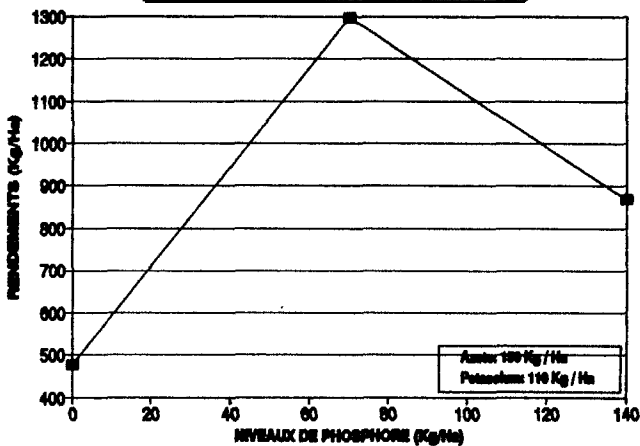
- La courbe de  $P_2O_5$  révèle une réponse très nette du rendement aux doses croissantes de phosphore. Le maximum de production est obtenu avec un apport de 70 kg $P_2O_5$ /ha environ : on enregistre un gain de rendement de 820 kg/ha par rapport sans P. Ce résultat corrobore celui reporté par Pieri (1986) qui stipule qu'en Afrique



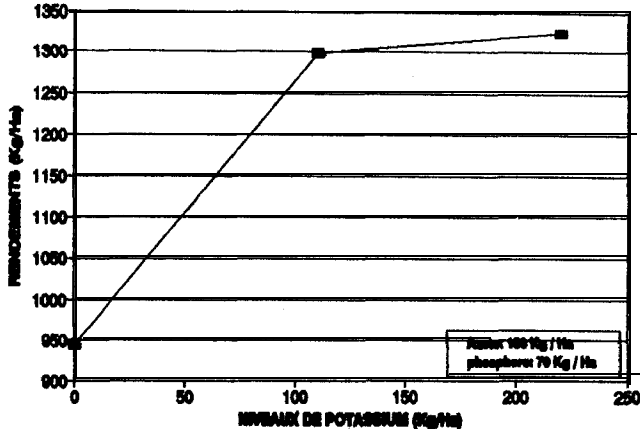
**COURBE DE REPONSE DE L'AZOTE EN FONCTION DU PHOSPHORE ET DU POTASSIUM**



**COURBE DE REPONSE DU PHOSPHORE EN FONCTION DE L'AZOTE ET DU POTASSIUM**



**COURBE DE REPONSE DU POTASSIUM EN FONCTION DE L'AZOTE ET DU PHOSPHORE**



comme à Madagascar, la carence la plus fréquente est celle phosphatée ; cette carence nécessite, pour être corrigée, des doses modestes de phosphore : 40 à 70  $\text{kgP}_2\text{O}_5/\text{ha}$  en Afrique de l'Ouest.

- La courbe de  $\text{K}_2\text{O}$  montre une réponse moins nette du rendement aux doses croissantes de  $\text{K}_2\text{O}$ . Le rendement maximum est obtenu avec un apport de 110 kg de  $\text{K}_2\text{O}/\text{ha}$  correspondant à un gain de rendement de 352 kg/ha par rapport au témoin sans K. Un apport de 110 Kg/Ha de K nous semble parfaitement justifié puisque la différence entre 110 et 220 Kg/Ha est très faible (27 Kg/Ha).

### 3.4.3. Analyse économique

#### A. Budget partiel

L'essai a été mené en milieu paysan sous la gestion de l'exploitant. L'ISRA n'est intervenu que dans le cadre de la mise en place des intrants et du suivi des opérations culturales. Les rendements obtenus n'ont pas été réajustés pour cette première année de l'essai à cause de l'absence d'une information objective sur le coefficient d'ajustement à utiliser. Il faudrait aussi noter que l'objectif de l'analyse est d'identifier les traitements économiquement intéressants plutôt que de formuler des recommandations spécifiques pour la zone.

Le prix moyen au producteur observé dans les marchés de la zone (100 Fcfa/Kg) est utilisé pour évaluer la récolte. Compte tenu de la faible part de l'autoconsommation familiale, toute la récolte est évaluée au prix moyen reçu par le producteur. Pour les intrants agricoles, les prix pratiqués par les commerçants de la zone (incluant le transport) sont utilisés (voir tableau 6).

Les temps d'épandage des engrais ont été ramenés en équivalent homme-jour sur la base du nombre d'heures nécessaires pour faire le travail. Une journée de travail d'environ 8 heures a été retenue.

Le coût associé à la récolte a été considéré comme un élément de coût d'opportunité contrairement à la pratique consistant à le déduire de la valeur de la production. Le détail des calculs apparaît dans le tableau 7.

**TABLEAU 6 : Prix des engrais commerciaux et du Maïs-grain**

Engrais commerciaux et Maïs-grain	Teneur en éléments fertilisants	Prix de l'unité* FCFA/kg
Urée	46%N	130
Chlorure de Potassium	60%K <sub>2</sub> O	143
Super Phosphate Triple	45%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	200
Maïs-grain		100

L'analyse de la **dominance** a pour objectif de mesurer la performance d'un traitement à travers l'ampleur de son bénéfice net, compte tenu de son coût total de réalisation. Le tableau 8 résume les paramètres calculés selon le traitement appliqué par ordre croissant des coûts totaux. Dans ce cadre d'analyse, un traitement est considéré comme dominé s'il est possible de trouver un autre traitement qui **couterait** moins cher tout en ayant un bénéfice net plus élevé. Dans ce cas, le gain de rendement obtenu ne parvient pas à compenser les coûts additionnels engagés. Autrement, le traitement est dit **supérieur**. La courbe des bénéfices nets est illustrée dans le graphique 3. Les points situés sur cette courbe montrent les traitements supérieurs tandis que ceux qui sont dominés sont situés bien en dessous de la courbe. Les traitements 1, 13, 3, 2, 15 et 7 (voir tableau 8) constituent ceux qui **présentent** actuellement un intérêt économique pour le producteur.

TABLEAU 7: ESSAI FERTILISATION DU MAIS  
BUDGET PARTIEL

TRAITEMENTS -->	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RENDEMENTS AJUSTES ( Kg/Ha)	589	787	1189	1025	1008	911	1067	1525	1003	714	1170	478	869	944	1325	1298
VALEUR PRODUCTION: (Fcf/Ha)																
prix = 100Fcf/Kg	58900	78700	118900	102500	100800	91100	106700	152500	100300	71400	117000	47800	86900	94400	132500	129800
<b>COÛTS VARIABLES</b>																
Coût des engrais																
Quantité Azote	0	50	250	50	250	50	250	50	250	0	300	150	150	150	150	150
Quantité Phosphore	0	30	30	110	110	30	30	110	110	70	70	0	140	70	70	70
Quantité Potassium	0	40	40	40	40	180	180	180	180	110	110	110	110	0	220	110
Coût de l' Azote	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
Coût du Phosphore	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Coût du Potassium	143	143	143	143	1.3	143	143	1.3	143	143	1.3	143	143	143	1.3	1.3
Total coût engrais	0	18220	4.220	3.220	60220	38240	64240	5.240	80240	29730	68730	35230	63230	33500	64960	4.230
Coûts d'opportunité																
Epannage Urée(H/J)	0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Epannage Phosphore(H/	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0.1
EpanRécolPotassium(H/	0.56 0	0.1 0.1	1.12 0.1	0.97 0.1	0.95 0.1	0.0.1	1.01 0.1	1.11 0.1	0.95 0.1	0.97 0.1	1.10 0.1	0.95 0.1	0.92 0.1	0.89 0	1.25 0.1	1.22 0.1
Taux journalier(Fcf/Ha/	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Total coûts opport.	277.8	621.18	810.78	733.13	725.11	679.66	753.2.	969.25	723.05	436.75	801.82	125.11	659.85	615.23	871.92	862.19
(Fcf/Ha)																
TOTAL COÛTS VARIABLES (Fcf/Ha)	277.8	18841	45031	31953	60945	38920	6.993	55209	80963	30167	69532	35655	63890	34145	65835	50092
BENEFICE NET (Fcf/Ha)	58622	59859	73869	67517	391155	52180	41707	97291	19337	41233	47168	12115	23010	60255	66665	79708

La pente des droites reliant les points sur la courbe des bénéfices nets détermine l'importance relative des traitements économiquement rentables. L'analyse marginale qui suit nous permettra de quantifier cette importance.

### C. Analyse marginale

Le Taux Marginal de Rémunération, selon l'optique qui nous concerne ici, exprime le comportement des bénéfices nets liés à un traitement par rapport aux coûts engendrés par l'investissement en intrants et en main d'oeuvre. Les résultats obtenus figurent dans le tableau 9. Par exemple, le passage du témoin (NPK = 0-0-0) au traitement 1 (NPK = 50-30-40) produit, au delà de l'investissement initial, un revenu supplémentaire équivalent à 7% de cet investissement. Si l'agriculteur décide de passer au traitement 13 étant donné qu'il se situait déjà au 1, il aurait en plus des 7% mentionnés, un revenu additionnel de 3%. La pratique courante veut que le TMR calculé soit comparé à un taux cible acceptable dans la zone d'étude, pour déterminer les traitements rentables selon l'optique des producteurs. Ce taux cible devrait tenir en compte la nature de la technologie proposée ainsi que du coût du capital. Si nous adoptons le taux moyen de 50% alors les traitements 3, 2, 15 et 7 mériteraient une attention particulière pour la suite de l'essai. Toutefois, comme l'objectif de l'essai était de localiser les traitements susceptibles d'être poursuivis les années suivantes, il serait souhaitable de poursuivre tous les traitements supérieurs en diversifiant les lieux d'implantation.

**TABLEAU 8: TRAITEMENTS SUPERIEURS ET DOMINES**

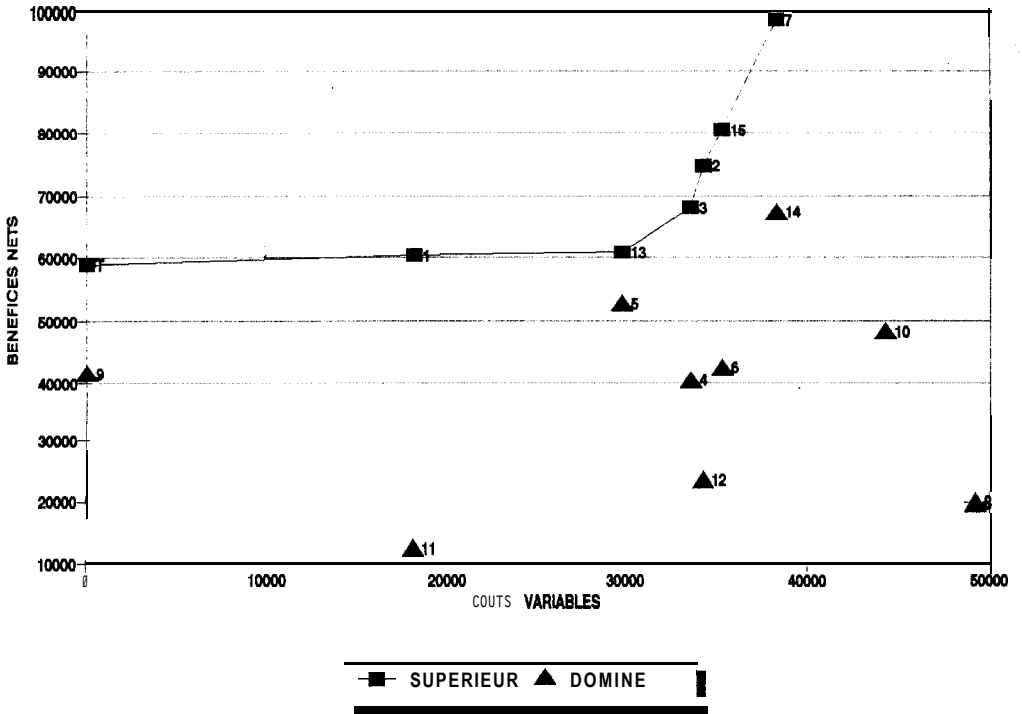
DOSES NPK	NUMERO	COUT TOTAL	BENEFICE NET	STATUT DES TRAITEMENTS
<b>000-000-000</b>	0	278	58622	témoïn
050-030-040	1	18841	59859	<b>supérieur</b>
000-070-110	9	30167	41233	dominé
150-070-000	13	34145	60255	supérieur
05110-040	3	34953	67547	supérieur
150-000-110	11	35655	12145	dominé
050-030-180	5	38920	52180	dominé
250-030-040	2	45031	73869	supérieur
150-070-110	15	50092	79708	<b>supérieur</b>
<b>050-110-180</b>	7	55209	97291	supérieur
250-110-040	4	60945	39855	dominé
150-140-110	12	63890	23010	dominé
250-030-180	6	64993	41707	dominé
150-070-220	14	65835	66665	dominé
300-070-110	10	69532	47468	dominé
250-110-180	a	80963	19337	dominé

**Tableau 9: EVALUATION DES TAUX MARGINAUX DE RENUMERATION**

TRAITEMENTS	COUT TOTAL	COUT MARGINAL	BENEFICE NET	BENEFICE MARGINAL	TMR
000-000-000	278		58622		
050-030-040	18841	18563	59859	1237	7
150-070-000	34145	15304	60255	396	3
050-110-040	34953	808	67547	7292	902
250-030-040	45031	10077	73869	6323	63
150-070-110	50092	5061	79708	5839	115
050-110-180	55209	5117	97291	17583	344

1. TMR = Taux Marginal de Rémunération

### ESSAI FERTILISATION SUR MAIS COURBE DE BENEFICE NET (Fctg/Ha)



#### 3.4.4. Analyse statistique

Les données obtenues sur le rendement-grain sont analysées en utilisant un modèle de régression multiple (Cochran and Cox, 1957). L'équation du second degré qui définit les rapports **input/output s'établit** comme suit (interaction du 3e ordre étant négligée) :

$$Y = 4.68 + 0.08\sim + 0.58p + 0.11k - 0.31N^2 - 0.48p^2 + 0.02K^2 - 0.49NP - 0.33NK + 0.23PK$$

Cette équation relie les facteurs de production (N, P, K) au rendement de la culture. Le coefficient de détermination multiple  $R^2 = 0.69$  trouvé par l'analyse, indique que 69% de la variation des valeurs de rendement observées sont expliquées par l'équation du modèle. D'autres facteurs de l'environnement (climat et fertilité intrinsèque du sol) peuvent être crédités de 31% de cette variation des valeurs de rendement.

Les dérivés partielles (par rapport à chaque élément) sont des équations qui égalées à zéro et résolues simultanément permettent de déterminer les doses de **N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** et **K<sub>2</sub>O** procurant des rendements maximum (NDIAYE, 1988). Dans le cas de cette étude ces doses sont de 147 kg **N/ha**, 79 kg **P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha** et de 65 **kgK<sub>2</sub>O/ha**. Ces résultats sont en adéquation avec ceux trouvés à partir de l'interprétation graphique et de l'analyse marginale. Toutefois, ce qui est intéressant pour le paysan, ce n'est pas le rendement maximum mais **plutôt** celui qui procure le maximum de profit. On doit signaler cependant qu'il ne s'agit pas simplement de rechercher à augmenter les rendements de façon à obtenir des profits immédiats pour une dépense d'investissement minimum mais plus profondément d'approcher du potentiel des rendements élevés pendant une période indéfinie.



#### IV. CONCLUSION

Les études de fumures entreprises **antérieurement** ont mis en évidence la **nécessité** d'étudier des formules d'engrais adaptées aux principaux types de sol et le danger d'utiliser une formule **passé-partout**, comme cela se pratique **à** nos jours.

Les essais que nous avons initiés n'ont pu être implantés que dans une seule localité cette année **à** raison de diverses contraintes rencontrées. Ils ont permis toutefois de montrer que le phosphore est le plus important facteur qui limite le rendement dans le sol du paysan de Paoskoto. Sans apport de **P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**, les rendements peuvent être de 400 **kg/ha**. On peut multiplier ce chiffre par 2 **à** 3 en apportant 70 **kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha** sous forme de superphosphate triple. L'azote est ensuite **l'élément** qui limite le rendement si le phosphore n'est pas un facteur limitant ; l'azote (150 **kgN/ha**) fournit une augmentation substantielle du rendement. Le potassium serait le facteur le moins limitant du rendement dans ce sol, toutefois il serait souhaitable d'envisager un apport préventif de cet élément. Pour le cas particulier de ce sol de Paoskoto on pourrait recommander au paysan l'emploi de 50-110-180 d'engrais **N-P-K** **à** partir de notre analyse économique. Dans ce cas particulier, ce traitement correspond aussi au rendement le plus intéressant sur le plan agronomique. Cependant ce dernier résultat nécessite confirmation et extension **à** différents types de sol et zones **écologiques**. La reconduite de l'essai sur plusieurs années permettra d'affiner l'information agro économique et partant, d'orienter l'analyse vers la formulation de recommandations.

La mise en place d'un réseau dense d'essais multilocaux avec un dispositif composé rotatif central ("Central Composite **Design**"), le **contrôle** de ces **expériences** et les prospections en plein champ 'au moyen de diagnostic foliaire et d'analyse du sol, permettraient de collecter une masse considérable de données.

Une carte des fumures pourrait être tracée pour délimiter des grandes zones agro-écologiques homogènes de nutrition, pour lesquelles des formules adaptées seraient seules susceptibles de fournir des augmentations de rendement certaines et constantes, non seulement pour le maïs, mais aussi toutes les autres **céréales**.

REFERENCES

- Alejandro Ortez C., 1987.** Insect Pests of **Maize**. A Guide for Field Identification. **Maize** Program, CIMMYT.
- Blondel, D., 1971.** Contribution à la connaissance de la Dynamique de l'**Azote** Minéral en sol Ferrugineux Tropical à Nioro du Rip (Sénégal) : **Doc. mult. 7p.**
- Carlos De Leon, 1986.** Maladies du **Maïs**. Guide **d'Identification** au champ. Programme **Maïs**, CIMMYT, Mexico.
- Cochram, W.G. and G.M. Cox., 1957.** Experimental Designs. Second Edition. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Eric W. C. et Mulumba K., 1987.** **L'Analyse** Economique des Essais Agronomiques Pour la Formulation des Recommandations aux Paysans. ISRA, MSU.
- FAO, 1968.** Freedom from Hunger **Campaign** Fertilizer Program: Physical and Economical Summary of Trial and Demonstration Results, **1961/1962 - 1965/1966.**
- Ndiaye, J.P., 1988.** Recherche d'une formule de Fumure Minérale Optimum : Aspects Méthodologiques. **Doc. ISRA, 54p.**
- Nicou, R., 1975.** Caractéristiques Principales des sols **sableux et** sablo-argileux du Sénégal. Problèmes Agronomiques de leur mise en valeur. **Communication présentée à la 3e réunion** du sous-comité Ouest-Africain de corrélation de sols pour l'évolution et l'aménagement des ressources en sol. Dakar, 20 Février - 2 Mars, 1975. **Doc., ISRA, 23p.**
- Piéri, C., 1969.** Etudes Pédologiques de la Région de Nioro du Rip. Note Technique du CNRA, Bambey-Sénégal.

- Piéri, C., 1989. Fertilité des Terres de Savanes. Bilan de Trente (30 ans de Recherche et Développement Agricole au Sud du Sahara. Ministère de la Coopération et du Développement, ISRA-CIRAD-FRANCE.
- Piéri, C., 1986. Fertilisation des cultures Vivrières et Fertilité des Sols en Agriculture Paysanne Subsaharienne. L'Agronomie Tropical: 41-1.
- PRASAD, D., 1978. Management Practices For Improving Maize Yields. In Technology for Increasing Food Production. Ed. S.C. HOLMES. FAO, Rome 3 34 558, Italy.
- Séré, Y., 1984. Phytopathologie du Maïs. Rapport de Synthèse 1983, IVRAZ, Station farako Bâ - Burkina Faso.
- Tourte, R., 1952. Les Entrais N.P.K. Poursuite de l'Etude de leurs effets sur Arachide et mil au Sénégal. Annales du CRA de Bambey au Sénégal. Bulletin Agronomique n°8 Septembre 1953, 24p.

Isra  
bp 3120  
Dakar  
Sénégal

**UNIVAL**

documentation  
et éditions  
scientifiques agronomiques