

PN 2/100/13

MINISTERE DU DEVELOPPEMENT
RURAL ET DE L'YDRAULIQUE
SENEGAL

CN910013
F040
ND1

+++TUT SENEGALAIS DE
RECHERCHES AGRICOLES (ISRA)

PROJET USAID/ISRA
SUR LA RECHERCHE AGRICOLE
AU SENEGAL (SAR II)

Rapport Provisoire

**Recherche de formules d'engrais N-P-K pour la
culture du maïs pluvial**

par
Mamadou Ndiaye
Ibrahima Dioum
Ganda Dème

Programme maïs pluvial
Janvier 1991

Secteur Centre Sud
Station de Nioro
BP 17 NZORO-DU-RIP

Avant - Propos

Cette étude est menée dans le cadre d'initiation d'une partie du programme phyto-technie sur le maïs pluvial entrepris à la Station ISRA de NIORO. Elle a été financée par l'USAID dans le cadre du Projet USAID/ISRA sur La Recherche Agricole au Sénégal (SAR II), à qui nous exprimons nos remerciements.

I) Introduction - Objectif

Le maïs était cultivé autour des cases, mais depuis quelques 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) Matériel et méthode

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 grès sablo-argileux, et cuirasse pouvant affleurer (Piéri, 1969). L'essai a été conduit dans le cadre d'une rotation Arachide - Maïs. C'est ainsi que cette année le précédent cultural est la variété d'arachide 73-33.

Le dispositif expérimental est un arrangement composé rotatif central ("Central Composite Design") basé 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 $b_0, \dots, b_9$ sont les coefficients du polynôme du second degré.

Les doses d'engrais de 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 de cultures. Cependant le dispositif factoriel aboutit à un nombre excessif de traitements lorsque le nombre de facteurs ou de niveaux augmente.

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 ₂ O ₅	K ₂ 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° itement	ENGRAIS : kg/ha			Rendt.-grain Kg/ha	% d'augmenta- tion/Témoin
	N	P ₂ O ₅	K ₂ 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	15.	+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
T (témoin)	0	0	0	589	0

Tableau 1 : Doses d'engrais

	Eléments fertilisants		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Doses en kg/ha	0	0	0
	50	30	40
	150	70	110
	250	110	180
	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 (c'est à dire une meilleure précision pour l'extension du paramètre étudié par la réponse surface).

Les différents traitement 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.

Tableau 2 : Matrice de traitements de l'essai

Numéro du traitement	Doses d'engrais			Echelle codifiée		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ 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	1.682	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

L'azote est apporté sous forme d'urée (46%N) fractionné en 20% au semis, 40% au 27^e jour et 40% au 41^e jour. Le phosphore et le potassium sont apportés en une seule fois au semis sous formes de supertriple (45% P_2O_5) et de chlorure de potassium (60% K_2O) 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 - 25cm. Il a été suivi d'un hersage. Le semis a été effectué à plat à raison de 3 graines/poquet et le démarrage à un pied par poquet a été effectué 15 jours après la levée.

Des analyses chimiques du sol. ont été effectuées avant l'implantation de l'essai. Deux prélèvements de tissus de la plante ont été effectués au hasard sur chaque parcelle à la floraison femelle (feuille de l'épi) et à la récolte (tiges, graines et rafles), pour déterminer les prélèvements de N, P, et K, en tant que mesure de la nutrition disponible pour la production de ces organes. Dix feuilles ont été prélevées au hasard à l'intérieur de chaque parcelle.

III) Résultats et Discussions

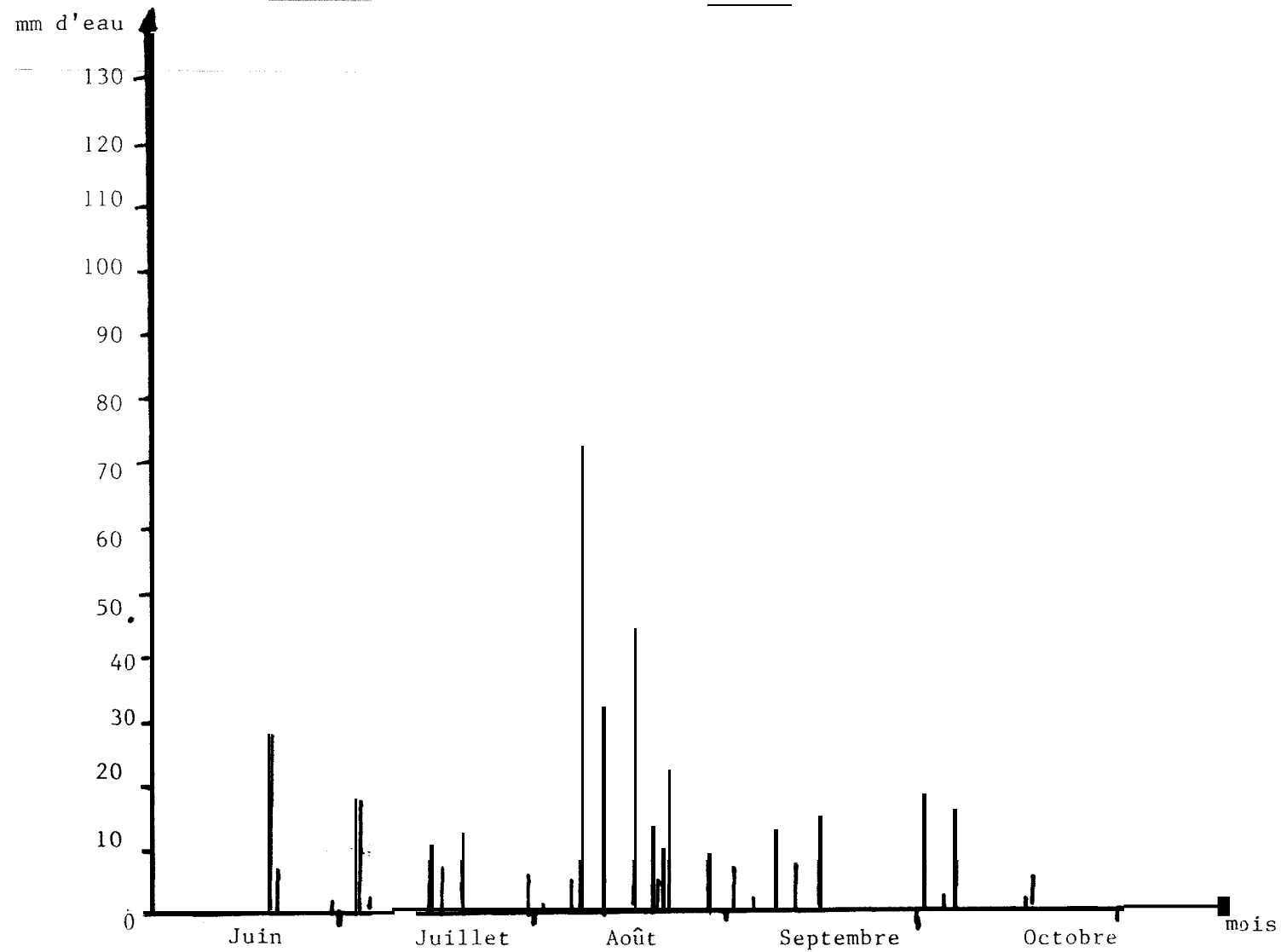
3.1 Aperçu sur la pluviométrie

La pluviométrie à Paoskoto (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 18,6mm d'eau. Cependant le mois de Juillet a été arrosé : 172,1mm 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 bien arrosé : 231,3mm en 13 jours : ce qui a permis une bonne croissance de 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 pucerons 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.

Graphique 1 : Pluviométrie de l'année 1990
à Paoskoto.



Certains microorganismes fongiques ont été identifiés parmi lesquels 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, ces microorganismes ne constituent pas une menace pour les parcelles de maïs à Paoskoto. 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 fongiques car les conditions d'humidité du Sahel sont propices au développement des champignons et à la réalisation des infections à lieu en un laps de temps très court (Séré, 1984).

3.3 Analyse du sol

Les caractéristiques chimiques du sol d'expérimentation sont indiquées dans 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 de 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 de niveaux d'équilibre très médiocre. 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 et du 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 350mg de P_2O_5 total par kg de terre (Nicou, 1975). Dans le sol de Paoskoto le phosphore total varie entre 213 et 270mg 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 0,137meq/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 une grande pauvreté qui s'explique par une surface colloïdale d'absorption limitée à cause de la prédominance kaolinite et sesquioxydes (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.

.../.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

1- Analyse du sol

Tableau 3 : Caractéristiques du sol d'expérimentation (moyenne de 3 échantillons)

(d'après Diangar, 1989)

Horizons cm	PH		C TOTAL	MO* %	N TOTAL	C/N	P TOTAL %	P assim. ppm	K TOTAL meq/ 100g	Bases échangeables, meq/100g					
	eau	KCL								Ca	Mg	NA	K	Somme	CEC
0-10	6.1	5.5	3.94	6.77	0.33	12	0.65	13.27	2.05	0.98	0.35	0.03	0.056	1.42	1.44
0-20	5.6	5.0	3.47	5.96	0.30	11	0.84	10.15	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	0.96	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	1.362	7.1	2.919	1.04	0.47	0.029	0.039	1.58	1.52
0-80	6.0	5.2	2.31	3.97	0.24	10	1.370	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	1.382	4.7	3.228	1.29	0.86	0.032	0.107	2.29	1.92

* M.O % = 1,72 x C%

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 1298kg/ha et 944kg/ha soit une différence de 354kg/ha.

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

- Le phosphore a été le facteur limitant le plus limitant 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 820kg/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%) est faible par rapport à la moyenne du Sénégal : 0,01 à 0,05%. (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 (Nidou, \$75).

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% 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 importante de nitrate pouvant atteindre 60 à 100kgN/ha après la première pluie (BLONDEL, 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 300kgN/ha, pour l'acide phosphorique (P_2O_5) de 0 à 140kg P_2O_5 /ha et pour la potasse (K_2O) de 0 à 220kg K_2O /ha.

L'interprétation graphique proposée consiste tout simplement à tracer la courbe moyenne des rendements en fonction des quantités de chacun des éléments apportés. Il convient de signaler le fait que nous disposons pour le tra de courbes de cinq (5) points correspondant aux doses expérimentées. On peut objecter que La variation de chaque élément se fait sans que le deux (2) autres gardent une même valeur. L'examen de:; courbes qui suivent nous permet toutefois d'estimer les doses de N, P et K qui procurent un rendement en grain optimum,

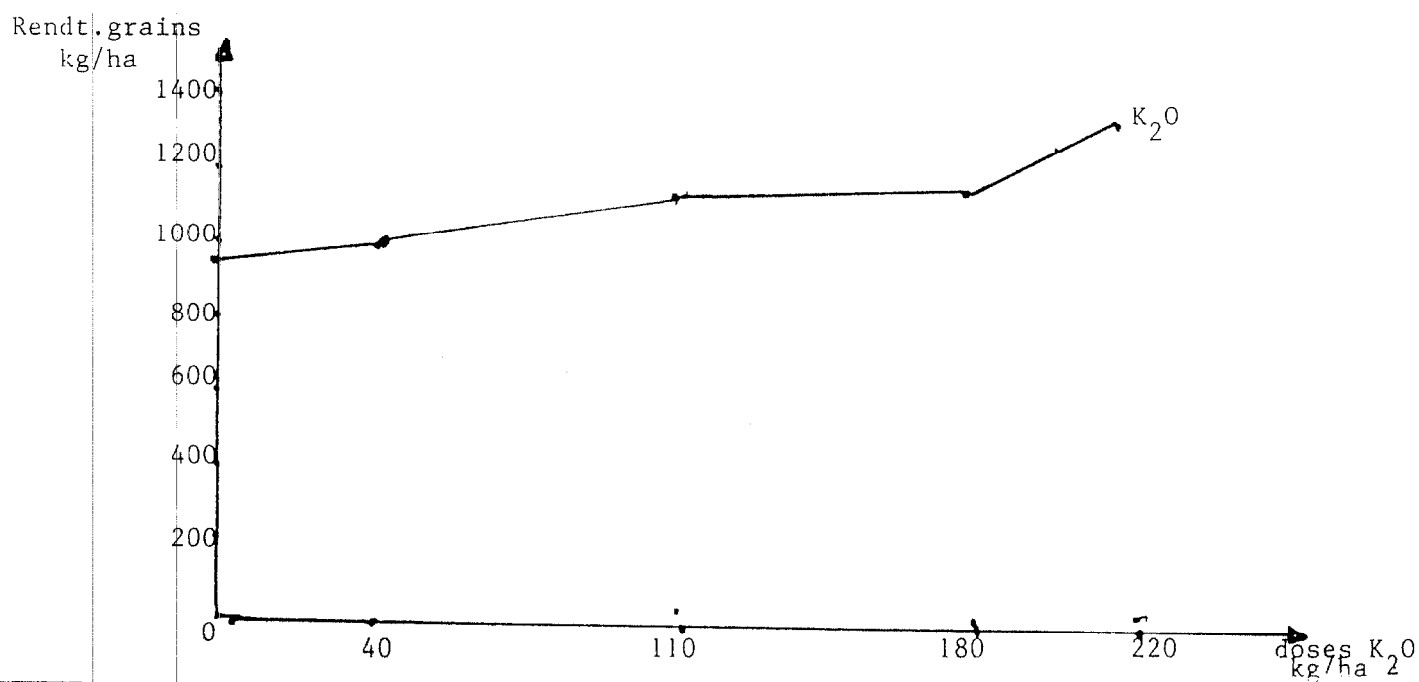
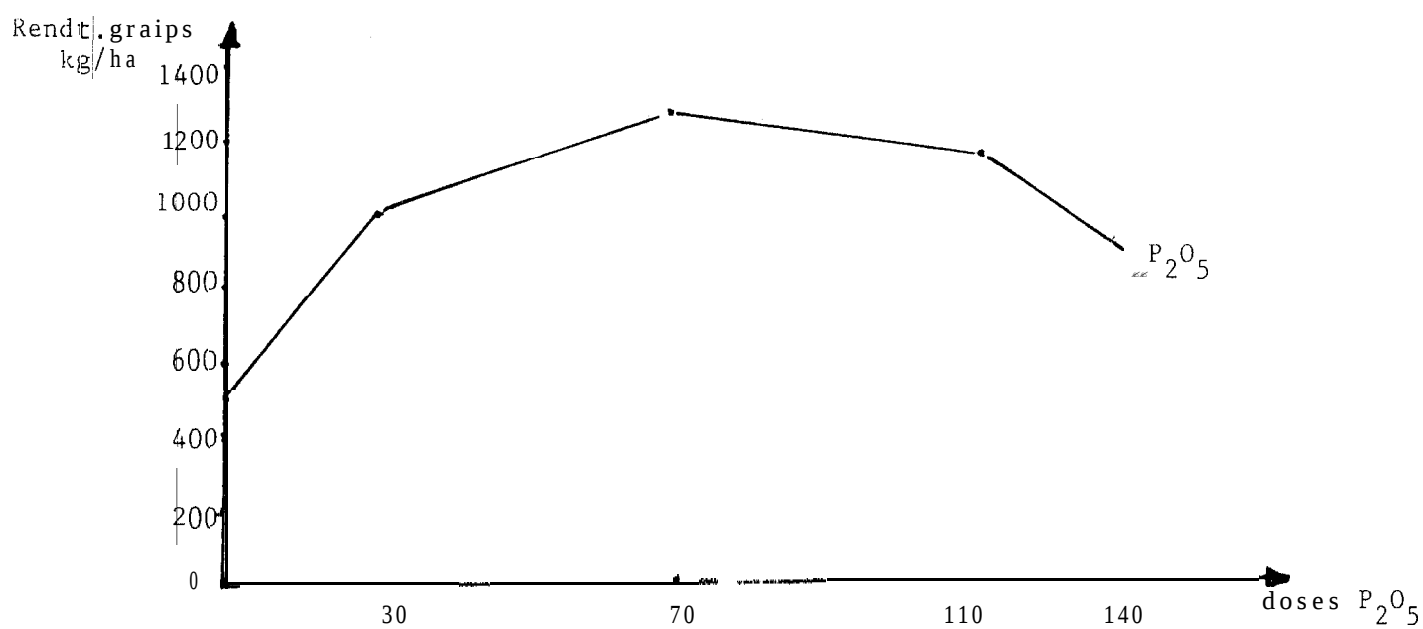
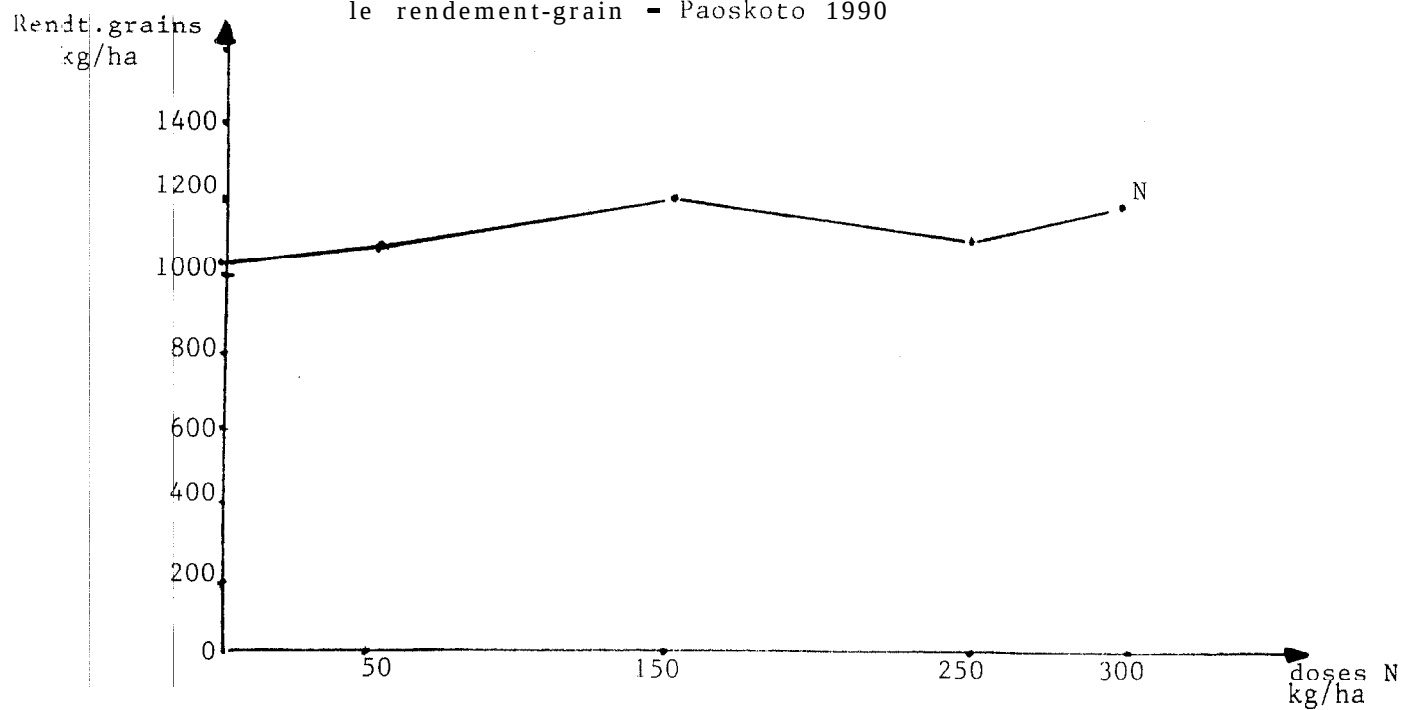
Tableau 4 : Effets de l'absence d'éléments fertilisants N-P-K sur le rendement-grain du maïs (variété Synthétic C.)
Paoskoto 1990.

Eléments fertilisants			Rendement-grain Kg/ha
N	P ₂ O ₅	K ₂ 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.

Tra: ement	ENGRAIS : Kg/ha			Rendement-grain Kg/ha	% d'augmentation par rapport au T!
	N	P ₂ O ₅	K ₂ 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
0	300	70	110	1170	+ 99
1	150	0	110	478	- 19
2	150	140	110	869	+ 47
3	150	70	0	944	+ 60
4	150	70	220	1325	+125
5	150	70	110	1298	+120
6	0	0	0	589	0
(Témoin)					

Graphique 2 : Influence des éléments fertilisants N,P et K sur le rendement-grain - Paoskoto 1990



Les variations de rendements en fonction des trois (3) éléments N, P_2O_5 et K_2O , sont représentés par les courbes indiquées dans le graphique 2. 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 150kgN/ha. L'apport de 150kgN/ha procure des grains de rendement de 180 et de 61kg/ha par rapport aux doses de 0 et 50kgN/ha, respectivement. On serait tenté de ne pas apporter d'engrais azotés, mais le maïs exige des quantités considérables d'éléments fertilisants, d'azote en particulier ; ses exportations se chiffrent à 30-50kgN/ha pour une récolte de 1000kg grain/ha (FAO, 1968) et 100 à 150kgN/ha pour une récolte de 5000 à 6000kg 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 150kgN/ha (selon le rendement ciblé) nous semble justifié, sans toutefois perdre de vue que des méthodes d'application de l'azote (application localisée par exemple) doivent être investiguées pour une meilleure efficacité des engrais azotés.

- 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 70kg P_2O_5 /ha environ ; on enregistre des gains de rendement de 789 et 275kg/ha par rapport aux doses de 0 et 30kg P_2O_5 /ha, respectivement. Ce résultat corrobore celui reporté par Pieri (1986) qui stipule qu'en Afrique comme à Madagascar, la carence la plus fréquente est celle phosphatée ; cette carence nécessite, pour être corrigée, des doses modestes de phosphore : 40 à 70kg P_2O_5 /ha en Afrique de l'ouest.

- La courbe de K_2O montre une réponse moins nette du rendement aux doses croissantes de K_2O . Le maximum de rendement est obtenu par rapport de 220kg K_2O /ha avec un gain de rendement de 381kg/ha par rapport au traitement 0 K_2O /ha. On pourrait être tenté de ne pas appliquer d'engrais potassiques, mais il ne faut pas perdre de vue qu'à partir de la deuxième année les ressources en K_2O du sol pourraient s'avérer insuffisantes pour fournir au maïs les quantités dont il a besoin. Un apport préventif d'une dose comprise entre 40 et 110kg K_2O /ha nous semble donc parfaitement justifié.

3.4.3 Analyse marginale portant sur un budget partiel

Sur la base des prix des engrais et du maïs-grain indiqués dans le tableau 6, une analyse marginale est faite. Dans cette analyse, ce qui importe ce sont les différences entre traitements plus que leurs valeurs absolues. En outre, les coûts qui ne varient pas entre traitements n'affecteront pas le calcul du taux marginal de rentabilité, par conséquent ils ne sont pas considérés dans notre analyse. Les taux marginaux de rentabilité de l'application de doses des trois (3) éléments fertilisants sont indiquées dans le tableau 7. Dans cet essai, pour l'emploi du phosphore qui est le facteur le plus limitant, le taux marginal de rentabilité (TMR) obtenu en passant de l'emploi de 0 à

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 ₂ O	143
Super Phosph. Triple	45%P ₂ O ₅	200
Maïs-grain		100

* Prix au producteur en 1988

NB : Exemple de calcul du taux marginal de rentabilité (TMR)

$$\text{TMT} = \frac{\text{bénéfice net}}{\text{Coût de l'engrais}} \times 100$$

$$\text{TMR de 0 à 50kgN/ha} = \frac{99\,900 - 71\,400}{6\,500 - 0} \times 100 = 438\%$$

Tableau 7 : Taux marginaux de rentabilité des doses de N P_2O_5 et K_2O

Dose de N kg/ha	Rendement kg/ha	Coût de l'engrais FCFA	Prod. Brut FCFA	Bénéf. net FCFA	Taux marginal *	
					>50%	>100%
0	714	0	71400	71400	-	-
50	1064	6500	106400	99900	oui	oui
150	1183	19500	118300	98800	oui	oui

Dose de P_2O_5 kg/ha	Rendement kg/ha	Coût de l'engrais FCFA	Prod. Brut FCFA	Bénéf. net FCFA	Taux marginal *	
					>50%	>100%
0	478	0	47800	47800	-	-
30	992	6000	99200	93200	oui	oui
70	1267	14000	126700	112700	oui	oui
110	1139	22000	113900	91900	non	non

Dose de K_2O kg/ha	Rendement kg/ha	Coût de l'engrais FCFA	Prod. Brut FCFA	Bénéf. net FCFA	Taux marginal *	
					>50%	>100%
0	944	0	94400	94400	-	-
40	1006	5720	100600	94880	non	non
110	1131	15730	113100	97370	non	non
180	1125	25740	112500	86760	non	non

* Taux marginal minimum fixé arbitrairement car jugé être incitatif à l'utilisation des engrais par le paysans

30kgP₂O₅/ha est de 757% et celui obtenu en passant de 30 à 70kgP₂O₅/ha est de 244%, alors que le TMR obtenu en passant de 70 à 110kgP₂O₅/ha devient inférieur au taux minimum de 50%. Par conséquent, de toutes les doses de P₂O₅, celle correspondant à l'emploi de 70kgP₂O₅/ha devrait être l'objet de recommandation à formuler à l'agriculteur. En effet la recommandation n'est pas (nécessairement) basée sur le TMR le plus élevé. Pour le paysan qui emploie des engrais phosphatés, un investissement dans les 30kgP₂O₅/ha lui assure un taux de rentabilité considérable, mais s'il se contentait de cette solution il perdrait l'occasion d'accroître son bénéfice à un taux de rentabilité attrayant en investissant dans l'achat de 40kgP₂O₅ additionnels. La dose de P₂O₅ qui procure un taux de rentabilité le plus intéressant est donc comprise entre 30 et 70kg/ha. Une interprétation similaire nous conduirait à recommander 50-150kgN/ha et 40-110kgK₂O/ha, respectivement pour l'azote et le potassium. Toutefois pour K₂O, ces doses n'atteignent un taux marginal minimum de 53%.

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 (l'interaction du 3e ordre étant négligée) : $Y = 4.68 + 0.08N + 0.58P + 0.11K - 0.31N^2 - 0.48P^2 + 0.02K^2 - 0.49NP - 0.33NK + 0.23PK$.

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 dérivées partielles (par rapport à chaque élément) sont des équations qui égales à zéro et résolues simultanément permettent de déterminer les doses de N, P₂O₅ et K₂O procurant des rendements maximums (NDIAYE, 1988). Dans le cas de cette étude ces doses sont de 147kgN/ha, 79kgP₂O₅/ha et de 65kgK₂O/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 le rendement 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 infinie.

1 Conclusion

Les études de fumures entreprises antérieurement ont mis en évidence la nécessité d'étudier de formules d'engrais adaptées aux principaux types de sol et le danger d'utiliser une formule passe-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_2O_5 , les rendements peuvent être de 400kg/ha. On peut multiplier ce chiffre par 2 à 3 en apportant 70kg P_2O_5 /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 (150kgN/ha) fournit une augmentation assez 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 150-70-110 d'engrais N-P-K à partir de notre analyse. Cependant ces résultats nécessitent confirmation et extension à différents types de sol et zones écologiques.

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 champs 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 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.

Références

- Alejendro Orteza C. 1987. Insect Pests of Maize. A Guide for Field Identification. Maize Program, CIMMYT.
- 1- 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.
- 3- Carlos De Leon. 1986. Maladies du Maïs. Guide d'Identification au champ. Programme Maïs, CIMMYT. Mexico.
- 4- Cochran, W.G. and G.M. Cox. 1957. Experimental Designs. Second Edition. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- 5- FAO. 1968. Freedom from Hunger Campaign Fertilizer Program : Physical and Economical Summary of Trial and Demonstration Results, 1961/1962 - 1965/1966. FAO Report LA / FFHC/6814. FAO-Rome.
- 6- Ndiaye, J.P. 1988. Recherche d'une formule de Fumure Minérale Optimum : Aspects Méthodologiques. Doc. ISRA. 54p.
- 7- 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.
- 8- Piéri, C. 1969. Etude Pédologiques de la Région de Nioro Du Rip. Note Technique du CNRA, Bambey-Sénégal.
- 9- 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.
- 10- Piéri, C. 1986. Fertilisation des cultures Vivrières et Fertilité des Sols en Agriculture Paysanne Subsaharienne. L'Agronomie Tropical : 41-1
- 11- 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.
- 12- Seré, Y. 1984. Phytopathologie du Maïs. Rapport de Synthèse 1983, IVRAZ, Station farako 3a - Burkina Faso.
- 13- Tourte, R. 1952. Les Engrais 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.