

# Détermination de la dose optimale d'azote sur le maïs en zone sud-soudanienne du Burkina Faso

---

S. H. KAMBIRÉ<sup>1</sup>, S. YOUL<sup>1</sup>, J. SANOU<sup>2</sup>

## Résumé

Cette étude a été conduite dans la zone ouest du Burkina Faso sur deux sites (Houndé et Sidéradougou) dans le but d'évaluer l'effet de la date de semis et des doses croissantes d'azote-engrais sur la productivité du maïs. Une fumure uniforme NPKSB (14-23-14-6-1) à la dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> a été appliquée 10 jours après semis suivi d'un deuxième apport d'azote à 30 jours après semis sous forme d'urée aux doses croissantes de 0, 40, 80, 120 kg ha<sup>-1</sup>. La productivité maximale de l'azote ainsi que les meilleurs rendements ont été observés sur les semis précoces (première décennie de juin) correspondant au début de la saison des pluies sur le site de Houndé. Sur ce site, les semis précoces ont permis dans certains cas (101 kg N ha<sup>-1</sup>) d'obtenir un accroissement de rendement de 100 %. Pour un rapport prix de l'azote/prix du maïs égal à 4, il est recommandé la dose de 127 kg N ha<sup>-1</sup> en semis précoce et celle de 106 kg N ha<sup>-1</sup> pour les semis intervenant plus tard. Les semis précoces n'ont pas amélioré les rendements et la productivité de l'azote sur le site de Sidéradougou.

**Mots-clés :** engrais azotés, maïs, productivité de l'azote, Ouest du Burkina Faso.

## Abstract

This study was carried out at two sites (Houndé and Sidéradougou) in western Burkina Faso to evaluate the effect of planting date and increasing N fertilizer rates on maize Nitrogen fertilizer use efficiency and yield. A uniform NPKSB fertilizer (14-23-14-6-1) at the rate of 150 kg ha<sup>-1</sup> was applied ten days after sowing ; Nitrogen was then applied at 0, 40, 80 and 120 kg N ha<sup>-1</sup> thirty days after sowing. Nitrogen fertilizer application and planting time effects was observed at both sites. Maximum yield of maize and nitrogen use efficiency were obtained when sowing during the first ten days of June corresponding to the start of rains. At the Houndé site the increase of maize grain yield due to early sowing reached 100 % (101 kg N ha<sup>-1</sup>) when compared to sowing during the first decade of July. It was determined at the Houndé site that recommended rates for early and late planted maize were respectively 127 and 106 kg N ha<sup>-1</sup> for price ratio of N/maize-grain of 4. Early planting had no effect at the site of Sideradougou.

**Keywords :** nitrogen fertilizer, maize, nitrogen productivity, western Burkina Faso.

---

<sup>1</sup> INERA, Station de Kamboinsé, BP 476, Ouagadougou, Burkina Faso

<sup>2</sup> INERA, Station de Farako Ba, BP 910, Bobo Dioulasso, Burkina Faso

## Introduction

Du fait de ses exigences climatiques, le maïs est principalement cultivé dans les zones méridionales de l'Ouest du Burkina Faso. La variabilité aléatoire de la pluviométrie, la faible fertilité naturelle des sols et le coût élevé des engrais sont autant de contraintes qui entravent la production de cette culture. S'agissant des engrais, ils représentent 50 à 60 % des coûts de production dans cette zone selon les enquêtes de WEY (1998).

D'une manière générale, les prix des engrais en Afrique sont les plus élevés du monde alors que leur efficacité est la plus faible. Selon BREMAN (1998), au cours de la première moitié des années 90, le prix d'achat de l'urée pour les pays d'Afrique de l'Ouest était le double du prix international (en moyenne 200 dollars US la tonne contre 100 dollars US). En 1997, le prix de l'urée au producteur était de 350 dollars US au Burkina Faso et 500 dollars US en Ouganda contre 100 dollars US la tonne en Inde et 175 dollars la tonne aux Pays Bas. Sur le plan de la recherche agronomique, de nombreux travaux menés dans les sols sableux de la zone des savanes de l'Afrique de l'Ouest ont permis de mettre en évidence un certain nombre de facteurs pouvant conditionner la réponse des cultures aux engrais azotés : la carence du sol en éléments fertilisants autres que l'azote, la forme des engrais, la date et le mode d'apport, la dose d'azote, la gestion de la matière organique, les rotations culturales, la densité des plants (BATIONO *et al.*, 1989, BATIONO and VLEK, 1998 ; GIGOU et CHABALIER, 1987 ; GANRY et BADIANE, 1991 ; SEDOGO *et al.*, 1991 ; TRAORÉ et GIGOU, 1991). D'après les travaux de GANRY (1990) au Sénégal, la productivité moyenne de l'unité d'azote engrais est de 14 kg ha<sup>-1</sup> pour le mil à Bambey et 17 kg ha<sup>-1</sup> pour le maïs à Séfa (sud du Sénégal). Le même auteur rapporte sur le mil un coefficient réel d'utilisation de l'urée d'environ 25 % à la dose optimale (88 kg ha<sup>-1</sup>) et sur le maïs, des coefficients réels d'utilisation plus élevés, en moyenne 34 % pour une dose de 100 N ha<sup>-1</sup>. Malgré ces faibles coefficients d'utilisation (inférieurs à 35 %), la productivité de l'azote engrais est moyenne à élevée et ces résultats traduisent l'effet primordial de l'engrais azoté dans l'accroissement de la capacité de la céréale à absorber l'azote du sol.

Ainsi, l'engrais azoté à la dose optimale multiplie au moins par deux la fourniture d'azote sol à la plante. Par ailleurs les semis dans la zone maïsicole se répartissent sur trois mois, de mai à juillet et principalement (93 %) entre le 20 mai et le 20 juillet (WEY, 1998). Cette variabilité de la période de semis est en partie liée à la variabilité des périodes d'installation des saisons de pluies, à la quantité de travail à fournir pour la préparation du sol, aux moyens dont dispose l'exploitant pour y faire face et à la superficie consacrée au coton. Ainsi, une part notable des labours au tracteur est associée à un retard de semis d'un mois (WEY, 1998).

Le fait de consacrer plus de surface au cotonnier contribue à retarder les semis de maïs car la priorité est accordée au semis du cotonnier (WEY, 1998). Cependant, très peu de travaux font état de l'effet de la variabilité de la date de semis sur la réponse de la culture à l'engrais azoté dans la zone Sud-Ouest du Burkina Faso. Ainsi, en matière de fertilisation du maïs très peu de recommandations prennent en compte cette réalité. L'objectif de l'étude était donc de mesurer l'effet de la variabilité de la date de semis sur la réponse du maïs à l'azote.

## **Matériel et méthodes**

### **Localisation des essais**

Les travaux d'expérimentation ont été effectués au cours de la campagne hivernale 1996-1997 dans les zones de Houndé et de Sidéradougou en champs paysans. Houndé est situé à l'est de Bobo-Dioulasso et au nord de la zone cotonnière. Plus de 50 % des exploitations utilisent la traction animale. La zone de Sidéradougou est une zone à cultures vivrières au sud de Bobo Dioulasso qui voit la culture cotonnière se développer progressivement. Ces deux sites sont dans la même zone climatique (zone sud-soudanienne avec une pluviométrie variant entre 900 et 1 100 mm) et les sols appartiennent au groupe des sols ferrugineux tropicaux lessivés.

### **Passé cultural des champs**

Les essais de Houndé ont été implantés sur un champ cultivé depuis neuf ans en rotation coton-maïs suivant les techniques culturales vulgarisées dans la zone cotonnière de l'ouest du Burkina Faso. L'essai a été mis en place après une culture de coton.

Les essais de Sidéradougou ont été installés sur un champ cultivé depuis sept ans. Les successions culturales ont été les suivantes : coton-coton-maïs-maïs-coton-maïs.

### **Prélèvement de sol et analyses de laboratoire**

Après délimitation de l'essai, un échantillon composite a été constitué à partir du prélèvement de 25 prises de terre uniformément réparties sur l'ensemble du terrain expérimental sur l'horizon 0-20 cm. Les échantillons ont été séchés à l'air libre, broyés et tamisés à 2 mm pour les analyses de laboratoire. La granulométrie est déterminée selon la méthode internationale « A » simplifiée après prétraitement à l'eau oxygénée et dispersion à l'aide d'un mélange d'hexamétaphosphate de sodium et de carbonate de sodium. Le carbone a été dosé par combustion à l'aide d'un analyseur automatique LECO CHN-600. L'azote total du sol est dosé par acidimétrie après minéralisation « Kjeldhal ». Le phosphore assimilable est extrait suivant la méthode Olsen modifiée par Dabin (1967) et dosé par colorimétrie au bleu de molybdène. La Capacité d'Echange Cationique et la composition du complexe d'échange sont obtenues par la méthode utilisant le chlorure de cobaltihexamine.

### **Dispositif expérimental**

Chaque site expérimental comprend deux essais qui diffèrent par la date de semis : le premier essai est semé entre le 1<sup>er</sup> et le 15 juin et désigné par le nom de « semis précoce ». Le deuxième essai est semé entre le 1<sup>er</sup> et le 10 juillet et appelé « semis normal ». On obtient ainsi quatre essais sur l'ensemble des deux sites :

- site de Houndé (HD), l'essai HD1 est semé le 12 juin et l'essai HD2 le 9 juillet ;
- site de Sidéradougou (SID), l'essai SID1 est semé le 8 juin et l'essai SID2 le 8 juillet.

Chaque essai comporte quatre traitements et six répétitions. Le dispositif expérimental est constitué de blocs de Fisher. Les quatre traitements correspondent aux doses d'azote apportées en deux temps, au démarrage et à la montaison. L'apport au démarrage s'est fait sous forme d'un engrais complexe NPKSB de formule 14-23-14-6-1 à la dose uniforme de 21kg N ha<sup>-1</sup> sur l'ensemble des parcelles ; le second apport est réalisé sous forme d'urée 30 jours environ après semis

suivant les conditions d'humidité de l'essai aux doses suivantes : 0, 40, 80 et 120 kg N ha<sup>-1</sup> en fonction des traitements. La préparation du sol a consisté à labourer à plat à la charrue en traction animale à une profondeur variant entre 15 et 20 cm. Une fumure de fond uniforme à base d'engrais complexe NPKSB de formule 14-23-14-6-1 est appliquée au démariage (10 jours après semis) sur tous les traitements à la dose de 150 kg N ha<sup>-1</sup> soit une dose de 21 kg de N, 34,5 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 21 kg de K<sub>2</sub>O, 9 kg de S et 1,5 kg de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> à l'hectare (tableau I). La parcelle élémentaire et le carré de rendement mesurent respectivement 80 et 24 m<sup>2</sup>. L'engrais complexe et l'urée sont appliqués le long de la ligne de semis puis enfouis manuellement à la houe traditionnelle (*daba*). Le maïs est semé en poquets alignés et démariés à deux plants par poquet. Les lignes sont distantes de 0,80 m et les poquets de 0,40 m. Il en résulte une densité de 62 500 plants à l'hectare. La variété de maïs utilisée est la SR22 dont le cycle semis-maturité est de 110 jours. L'entretien des parcelles est assuré par des sarclages manuels au besoin.

**Tableau I.** Quantité d'éléments fertilisants apportés au démariage et à la montaison.

Traitements	Quantité d'éléments appliqués (kg ha <sup>-1</sup> )						Quantité totale d'azote appliqué
	Démariage (engrais coton NPKSB)					Montaison	
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(urée)	
N21	21	34,5	21	9	1,5	0	21
N61	21	34,5	21	9	1,5	40	61
N101	21	34,5	21	9	1,5	80	101
N141	21	34,5	21	9	1,5	120	141

### Bilan hydrique des cultures

Les données sur la pluviométrie, la température, le rayonnement global et l'humidité relative ont été acquises à l'aide de stations météorologiques automatiques. Ces données ont permis de réaliser les bilans hydriques sur les essais à l'aide du logiciel SARRA mis au point par BARON *et al.* (1996). Le modèle de simulation du bilan hydrique développé dans ce logiciel utilise trois types de paramètre : les paramètres climatiques, les paramètres liés au sol et ceux liés à la culture. Les paramètres liés au sol sont : la profondeur maximale du sol, la réserve utile, le stock d'eau initial avant le début de la simulation et le ruissellement. La profondeur maximale du sol correspond à la profondeur maximale d'enracinement. L'humidité du sol est mesurée par la méthode gravimétrique. Les paramètres liés à la culture sont : l'espèce cultivée, la durée du cycle, les dates de semis et de récolte, les coefficients culturaux et la vitesse de croissance racinaire. Les paramètres climatiques sont la pluviométrie journalière et la demande évaporative journalière. Les calculs sont faits tous les cinq jours. Le rapport ETR x 100/ETM désigne le taux de satisfaction des besoins en eau des cultures.

## Paramètres mesurés et analyse statistique des données

### Rendement en maïs-grain

En fin de cycle, les données relatives au rendement en maïs-grain ont été obtenues en récoltant les carrés de rendement de 24 m<sup>2</sup> de chaque parcelle élémentaire. Le rendement a été exprimé en kg ha<sup>-1</sup> à 15 % d'humidité.

### Productivité de l'azote

La productivité de l'unité d'azote (PUN) pour une dose d'azote-engrais appliqué a été calculée selon la formule suivante :

$$\text{PUN} = \text{Rendement en maïs-grain (kg ha}^{-1}\text{)}/\text{quantité totale d'azote-engrais appliqué (kg ha}^{-1}\text{)}.$$

La description de la réponse du maïs aux doses croissantes d'azote ainsi que l'analyse économique ont été réalisées en utilisant le modèle quadratique (équation 1) en raison de sa facilité de manipulation algébrique (BATIONO, 1979 ; ELEMOS, 1997).

### Dose économique optimale d'azote (N<sub>opt</sub>)

La dose économique optimale d'azote a été obtenue par la formule (4) en posant l'équation (3) qui résulte de l'équation (2), dérivée première de la fonction de production par rapport à X :

$$Y = C * X^2 + B * X + A \quad (1)$$

$$Y' = B - 2 * C * X \quad (2)$$

$$f = n/m = B - 2 * C * X \quad (3)$$

$$\text{N}_{\text{opt}} = (B - f)/2 * C \quad (4)$$

« Y » désigne le rendement du maïs en kg ha<sup>-1</sup> ;

« Y' » désigne la dérivée première de la fonction de production par rapport à X ;

« X » la dose d'azote en kg ha<sup>-1</sup> ;

« A » la constante de la fonction de production ;

« B » le coefficient linéaire de la fonction de production ;

« C » le coefficient quadratique de la fonction de production ;

« f » correspond au rapport des prix de l'azote (n) sur les prix du maïs « m » (f = n/m).

Cinq rapports ont été pris en compte : 4 ; 5 ; 6 ; 7 ; 8 ; 9.

L'analyse de variance des données a été réalisée avec le logiciel STATISTICA 6.0.

## Résultats

### Caractéristiques physiques et chimiques des sols des essais

Les résultats des analyses de sols des horizons de surface montrent que les sols de Sidéradougou sont plus riches en sables grossiers (tableau II) ; par contre ceux de Houndé le sont en argiles et limons (fins et grossiers). Les taux de carbone organique des sols sur les deux sites sont proches. Par contre la teneur en azote total des essais de Houndé est un peu plus élevée.

**Tableau II.** Caractéristiques physiques et chimiques des sols des essais (horizon 0-20 cm).

		Site de Houndé		Site de Sidéradougou	
		Semis précoce (Essai HD1)	Semis normal (Essai HD2)	Semis précoce (Essai SID1)	Semis normal (Essai SID2)
Argile (%)		14,4	13,3	7,5	6,4
Limos	fins (%)	8,5	11,6	2,8	4,4
	grossiers (%)	27,5	34,2	5,1	6,0
Sables	fins (%)	35,5	31,8	35,1	16,6
	grossiers (%)	14,1	9,1	49,6	66,6
pHeau		5,90	5,45	6,20	6,60
pHkcl		4,95	4,65	5,00	5,50
C organique (%)		0,77	0,59	0,55	0,59
Matière organique (%)		1,32	1,01	0,95	1,01
N total (%)		0,055	0,050	0,047	0,047
P Olsen-Dabin (mg.kg <sup>-1</sup> )		20,4	12,0	16,3	21,1

JAS : nombre de jours après semis.

## Bilan hydrique des cultures

Les cultures n'ont pas connu de déficit hydrique important tout le long du cycle (tableau III). Cependant au niveau de l'essai SID2 à la phase de remplissage de grain il y a eu un déficit hydrique.

**Tableau III.** Taux de satisfaction des besoins en eau du maïs (ETR\*100/ETM) par période de cinq jours.

JAS	Essais			
	Houndé		Sidéradougou	
	HD1 (semis précoce)	HD2 (semis normal)	SID1 (semis précoce)	SID2 (semis normal)
0-5	66,5	89,6	65,8	61,4
5-10	90,5	95,6	61,9	97,3
10-15	90,9	98,7	86,8	93,3
15-20	97,4	98,1	97,2	96,1
20-25	97,4	98,4	96,9	96,0
25-30	98,4	99,7	97,4	99,0
30-35	98,6	99,1	98,0	95,7
35-40	97,6	99,5	97,1	94,8
40-45	98,2	97,6	81,8	90,9
45-50	97,2	98,2	96,6	91,2
50-55	98,7	98,8	97,3	90,0
55-60	99,2	97,7	98,5	79,4
60-65	99,7	96,7	96,6	80,9
65-70	98,7	96,1	98,2	83,9
70-75	98,2	94,6	97,0	85,6
75-80	99,0	91,2	97,9	86,2
80-85	98,0	90,7	96,8	85,8
85-90	97,7	92,6	96,6	91,0
90-95	97,8	91,5	94,9	57,7
95-100	89,2	88,3	91,7	34,3
100-105	93,8	81,2	76,6	21,2
105-110	85,7	71,4	87,2	12,9

## Effet de la date de semis et de l'azote et sur les rendements du maïs

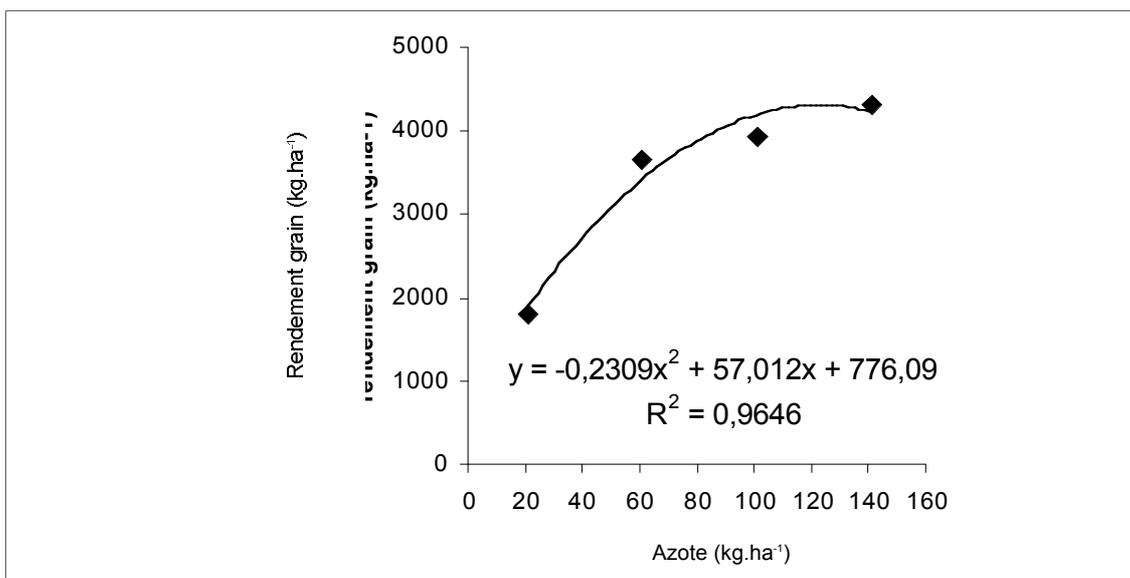
L'analyse de variance des rendements en grain montre une différence significative entre les essais (tableau IV). C'est l'essai HD1 (semis précoce du site de Houndé) qui enregistre le meilleur rendement (5 265 kg ha<sup>-1</sup>). Les rendements obtenus sur les autres essais ne sont pas statistiquement différents entre eux. Autrement dit, le semis précoce à Houndé a permis d'améliorer le rendement du maïs. A Sidéradougou les deux dates de semis ont produit des rendements.

En examinant les moyennes obtenues par traitement, on s'aperçoit que la fumure azotée a un effet sur les rendements en grain du maïs, tous sites et toutes dates de semis confondus. En effet, l'analyse de variance révèle qu'il y a une différence significative entre les traitements. Le traitement N141 permet d'obtenir le rendement le plus élevé (4 305 kg ha<sup>-1</sup>). Le rendement le plus faible est obtenu avec le traitement N21 qui correspond à la dose la plus faible d'azote soit 21 kg ha<sup>-1</sup>. Les traitements N61 et N101 ne sont pas statistiquement différents. Les rendements moyens pour ces deux traitements sont respectivement de 3 639 et 3 934 kg ha<sup>-1</sup>. La réponse du maïs aux doses croissantes d'azote est décrite par la courbe de la figure 1. Cette courbe fait apparaître une forte réponse du maïs à l'azote entre la première dose apportée au semis et la dose apportée à la montaison. La réponse entre la deuxième dose (61 kg N ha<sup>-1</sup>) et la troisième dose (101 kg N ha<sup>-1</sup>) est moins forte. Il en est de même entre la troisième et la quatrième dose (141 kg N ha<sup>-1</sup>). L'équation de cette courbe (Rendement maïs-grain  $Y = -0,23 X^2 + 57X + 776$  ;  $R^2 = 0,96$ ) permet de calculer le rendement moyen  $Y_0$  lorsque X est égal à zéro, c'est-à-dire en l'absence d'azote. On obtient en l'absence d'azote un rendement en maïs-grain de 776 kg ha<sup>-1</sup>. Le rendement maximum obtenu à partir de la fonction de production est de 4 295 kg ha<sup>-1</sup> et correspond à la dose de 123 kg N ha<sup>-1</sup>.

**Tableau IV.** Effets de la date de semis et de l'azote sur le rendement-grain du maïs.

Essais	Rendement-grain (kg ha <sup>-1</sup> )
SID2 (semis normal)	2 654 b
SID1(semis précoce)	2 979 b
HD2 (semis normal)	3 005 b
HD1 (semis précoce)	5 265 a
P < 0,001	
Doses d'azote (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendement-grain (kg ha <sup>-1</sup> )
N21	1 790 c
N61	3 639 b
N101	3 934 ab
N141	4 305 a
P < 0,001	

**NB** : les moyennes affectées de la même lettre dans la même colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil  $p = 0,05$  selon le test de Newman-Keuls.



**Figure 1.** Réponse du maïs à l'apport de doses croissantes d'azote.

Y = rendement du maïs-grain (kg ha<sup>-1</sup>) ; X = dose d'azote en kg ha<sup>-1</sup> ; R<sup>2</sup> = coefficient de détermination.

L'analyse de variance de la réponse du maïs aux doses croissantes d'azote par site et pour les différentes dates de semis montre que l'azote a un effet significatif sur l'ensemble des essais (tableau V) :

#### – Site de Houndé

Sur l'essai « semis précoce » (HD1) le test de Newman-Keuls permet de distinguer trois groupes de traitements : le premier groupe comprend N21, le second groupe correspond au traitement N61. Le troisième groupe est formé par N101 et N141. Sur l'essai HD2 on distingue deux groupes différents : d'une part le traitement N21 et d'autre part les trois traitements N61, N101 et N141 qui ne sont pas différents au plan statistique. S'agissant de l'effet de la date de semis, il est nul avec le traitement N21. Par contre avec les traitements N61, N101 et N141 les semis précoces entraînent des gains de rendement respectivement de 1 800 (soit +54 %), 3 222 (+ 100 %) et 3 345 kg ha<sup>-1</sup> (+ 93 %) par rapport au semis à la période normale.

#### – Site de Sidéradougou

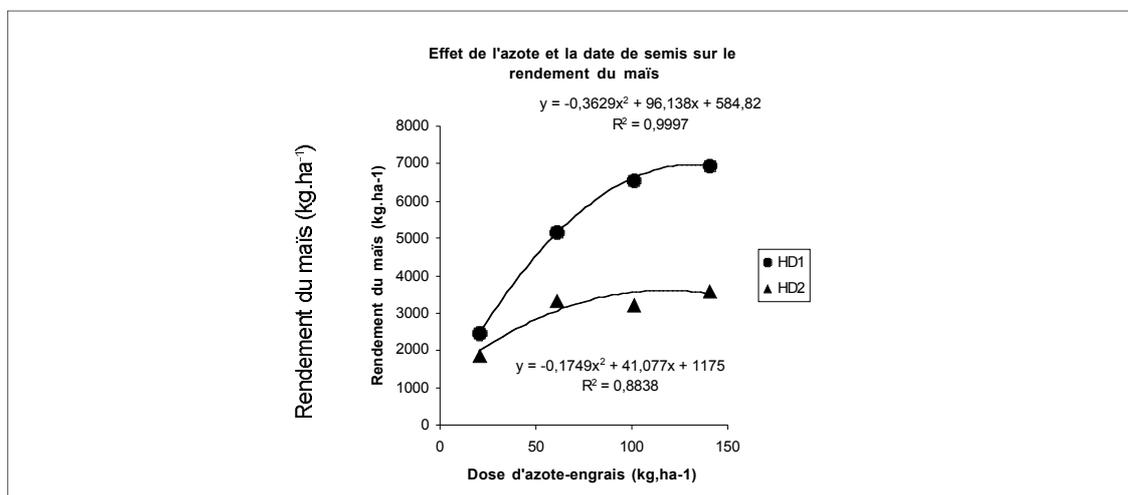
Le test de Newman-Keuls a permis de distinguer quatre groupes sur l'essai semis précoce (SID1). Le premier groupe est constitué du traitement N21, le deuxième groupe comprend N61, le troisième groupe correspond au traitement N101. Le traitement N141 forme le quatrième groupe. Dans l'essai SID2 (semis normal), les trois derniers traitements (N61, N101 et N141) conduisent aux mêmes résultats. Les semis précoces ne procurent pas de gain de rendement à l'exception du traitement N141 qui permet d'obtenir un gain de rendement de 1 147 kg ha<sup>-1</sup> (soit 39 %) sur le site de Sidéradougou.

**Tableau V.** Effets de doses croissantes d'azote sur les rendements du maïs-grain (kg ha<sup>-1</sup>) selon les dates de semis dans les deux localités de Houndé et de Sidéradougou.

Rendements grain (kg ha <sup>-1</sup> )					
Localités	Traitements	Doses d'azote (kg ha <sup>-1</sup> )	Gain de rendement dû au semis précoce (kg ha <sup>-1</sup> )		
			semis précoce (Essai HD1)	semis normal (Essai HD2)	
Houndé	N21	21	2430 c	1858 b	572 ns (+30 %)
	N61	61	5139 b	3339 a	1800 s (+54 %)
	N101	101	6553 a	3231 a	3222 s (+100 %)
	N141	141	6938 a	3593 a	3345 s (93 %)
			semis précoce (Essai SID1)	semis normal (Essai SID2)	
Sidéradougou	N21	21	1486 c	1443 b	43 ns (+3%)
	N61	61	2878 b	3325 a	- ns
	N101	101	3432 ab	2875 a	557 ns (+19 %)
	N141	141	4121 a	2974 a	1147 s (+39)

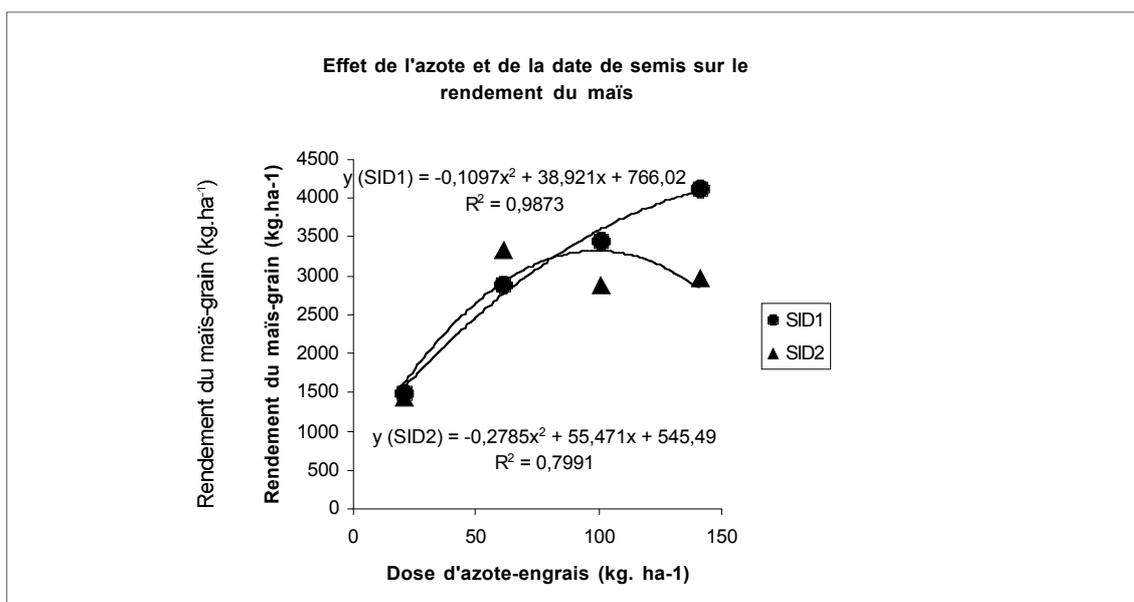
**NB :** Pour une localité donnée, les moyennes affectées de la même lettre dans la même colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil  $p = 0.05$  selon le test de Newman-Keuls

Les figures 2 et 3 illustrent la réponse du maïs à l'application de doses croissantes d'azote en fonction des dates de semis pour les deux localités. Le coefficient linéaire de la fonction de production (coefficient B) est plus élevé sur le site de Houndé en semis précoce traduisant une réponse plus élevée à l'azote.



**Figure 2.** Réponse du maïs aux doses croissantes d'azote selon les dates de semis, site de Houndé

**NB :** Y = rendement du maïs-grain (kg ha<sup>-1</sup>) ; A = constante de la fonction de production ; B = coefficient linéaire de la fonction de réponse ; C = coefficient quadratique de la fonction de réponse ; X = dose d'azote en kg ha<sup>-1</sup> ; R<sup>2</sup> = coefficient de détermination.



**Figure 3.** Réponse du maïs aux doses croissantes d'azote selon les dates de semis, site de Sidéradougou.

**NB :** Y = rendement du maïs-grain (kg ha<sup>-1</sup>) ; A = constante de la fonction de production ; B = coefficient linéaire de la fonction de réponse ; C = coefficient quadratique de la fonction de réponse ; X = dose d'azote en kg ha<sup>-1</sup> ; R<sup>2</sup> = coefficient de détermination.

## Effet de la dose d'azote et de la date de semis sur la productivité de l'azote

### Effet de la date de semis

L'analyse de variance des moyennes des productivités de l'azote révèle que la date de semis modifie la productivité de l'azote (tableau VI). C'est le site de Houndé qui connaît la PUN la plus élevée en semis précoce (79 kg grain kg<sup>-1</sup> N). Sur ce site, l'effet de la date de semis est très net. Par contre sur le site de Sidéradougou les deux dates de semis conduisent à des résultats comparables.

### Effet de la dose d'azote

La productivité de l'azote diminue avec la dose d'azote apportée (tableau VI). Elle décroît au fur et à mesure que l'on augmente les doses. Elle est de 85 kg grain kg<sup>-1</sup>N avec la plus faible dose d'azote (traitement N21) et de 31 avec la plus forte dose (traitement N141).

**Tableau VI.** Effets de la date de semis et de la dose d'azote sur la productivité de l'azote (PUN) à Houndé et Sidéradougou.

Date de semis	PUN (kg grain kg <sup>-1</sup> N)
Semis normal - Sidéradougou	43 b
semis précoce - Sidéradougou	45 b
Semis normal - Houndé	50 b
semis précoce - Houndé	79 a
	P<0,001
Doses d'azote (kg N ha <sup>-1</sup> )	PUN (kg grain kg <sup>-1</sup> N)
21	85 a
61	60 b
101	39 c
141	31 d
	P<0.001

**NB :** Pour un site donné, les moyennes affectées de la même lettre dans la même colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil  $p = 0,05$  selon le test de Newman-Keuls

### Effet des doses d'azote et les dates de semis par localité à Houndé et à Sidéradougou

#### Houndé

La productivité de N baisse au fur et à mesure que la dose d'azote augmente. Sur l'essai HD1 (semis précoce), elle est de 116 kg grain kg<sup>-1</sup>N avec le traitement N21. Elle tombe à 49 kg grain kg<sup>-1</sup>N avec le traitement N141. Sur l'essai HD2, la PUN est égale à 89 kg grain kg<sup>-1</sup> N avec le traitement N21 et devient 26 kg grain kg<sup>-1</sup>N avec le traitement N141. Dans cet essai HD2, les traitements N101 et N141 ne montrent pas de différence significative. Pour l'ensemble des traitements le semis précoce permet d'augmenter la PUN. Il fait passer la PUN de 89 à 116, de 55 à 84, de 32 à 65 et de 26 à 49 kg grain kg<sup>-1</sup>N respectivement avec les traitements N21, N61, N101 et N141 (tableau VII).

#### Sidéradougou

La productivité de N baisse en fonction de la dose d'azote. Cependant, les traitements N101 et N141 ne montrent pas de différences significatives pour les deux essais. Le semis précoce ne modifie pas de façon significative la PUN pour l'ensemble des quatre doses d'azote (tableau VII).

**Tableau VII.** Effet des doses croissantes d'azote sur la productivité de l'azote en fonction de la date de semis.

Localités	Traitements	Productivité de l'azote (kg grain kg <sup>-1</sup> N)		
		Semis normal (Essai HD2)	Semis précoce (Essai HD1)	Gain de productivité dû au semis précoce
Houndé	N21	89 a	116 a	S
	N61	55 b	84 b	S
	N101	32 c	65 c	S
	N141	26 c	49 d	S
Sidéradougou	N21	69 a	71 a	NS
	N61	55 b	47 b	NS
	N101	29 c	34 c	NS
	N141	21 c	29 c	NS

**NB :** Pour un site donné, les moyennes affectées de la même lettre dans la même colonne ne sont pas statistiquement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5%.

S : différence significative au seuil  $p = 0,05$  selon le test de Newman-Keuls

NS : différence non significative au seuil  $p = 0,05$  selon le test de Newman-Keuls

## Effet de la date de semis sur la dose économique d'azote

### Sidéradougou

L'analyse de variance avait montré que le semis précoce n'avait pas d'effet significatif sur le rendement en grain du maïs par rapport au semis à la date normale. La dose économique d'azote a donc été calculée pour ce site avec les données du semis à la date normale. Pour un rapport «  $f = 4$  », la dose recommandée est égale à 92 kg N ha<sup>-1</sup> pour les deux périodes de semis (tableau VIII). Pour un rapport «  $f = 9$  », l'optimum économique est de 83 kg N ha<sup>-1</sup>.

### Houndé

La dose économique du semis précoce est plus élevée que celle du semis normal. Pour un rapport «  $f = 4$  » par exemple, l'optimum économique du semis précoce est de 106 kg N ha<sup>-1</sup> contre 127 kg N ha<sup>-1</sup>. Pour un rapport «  $f = 9$  » l'optimum économique du semis précoce est de 120 kg N ha<sup>-1</sup> contre 92 kg N ha<sup>-1</sup> pour le semis normal. La dose d'azote du semis précoce consiste à ajouter à la dose du semis normal un complément d'azote variant de 21 à 28 kg N ha<sup>-1</sup> pour des rapports de prix allant de 4 à 9.

**Tableau VIII.** Optimum économique d'azote (kg N ha<sup>-1</sup>) pour plusieurs valeurs de « f ».

Site	Date de semis	f = 4	f = 5	f = 6	f = 7	f = 8	f = 9
Houndé	Semis précoce	127	126	124	123	121	120
	Semis normal	106	103	100	97	95	92
Sidéradougou	Semis normal	92	91	89	87	85	83

## Discussion

Quelle que soit la date de semis, le maïs réagit aux apports d'engrais azotés sur les deux localités étudiées. Cela traduit bien la carence en azote des sols tropicaux comme l'ont souligné de nombreux auteurs : PIERI (1989) ; GANRY (1990) ; AKINTUNDE *et al.* (1993). La productivité de l'azote est plus élevée aux faibles doses et diminue lorsque les doses d'azote augmentent confirmant la loi des rendements décroissants ou encore non proportionnels (BATIONO, 1979). La baisse de la productivité de l'azote en fonction de la dose d'engrais a été observée par AKINTUNDE *et al.* (1993). Ces auteurs notent une productivité de N entre 10 et 20 kg de maïs-grain kg<sup>-1</sup>N pour une dose d'engrais de 20 kg N ha<sup>-1</sup>. Mais cette productivité tombe à 6-14 kg grain kg<sup>-1</sup>N lorsque la dose d'azote s'élève à 40 kg N ha<sup>-1</sup>.

A Houndé, il a été établi que les semis précoces permettent d'accroître les rendements du maïs ainsi que la productivité de l'azote. Les accroissements de rendement peuvent atteindre 100 % avec la dose de 101 kgNha<sup>-1</sup>. Cette amélioration des rendements du maïs ou de la productivité de l'azote pourrait s'expliquer par la dynamique saisonnière de l'activité microbienne et la minéralisation de la matière organique comme l'ont démontré les travaux de DOMMERGUES et MANGENOT (1970), de BLONDEL (1971a, 1971b, 1971c) et de GIGOU (1982). Ces travaux ont mis en évidence que l'arrivée des premières pluies, après les longs mois de sécheresse, déclenche une flambée de l'activité biologique se traduisant par un « pic » d'azote minéral (ammoniacal et nitrique) dans l'horizon de surface. Cette activité biologique explosive n'excède pas 20 jours (BLONDEL, 1973 ; GANRY, 1993) et caractérise la première phase de la dynamique microbienne. Cette intense minéralisation de l'azote est suivie d'une chute rapide à un niveau beaucoup plus bas pendant toute la phase humide. Même s'il n'est pas possible de synchroniser parfaitement la demande en azote des cultures et l'offre en cet élément à partir de la minéralisation de l'azote du sol, les semis précoces peuvent contribuer à une meilleure adéquation de l'offre par le sol et de la demande par la plante (BACYE, 1993 ; GANRY, 1993 ; KAMBIRE, 1994 ; MARTIN, 1997).

## Conclusion

L'augmentation sans cesse des prix des intrants agricoles, particulièrement des engrais chimiques, implique la recherche continue d'une stratégie d'économie de ces intrants pour améliorer les performances des systèmes de culture. Plusieurs facteurs peuvent affecter l'efficacité de l'engrais azoté apporté au maïs : la dose, le mode et la date d'application, la nature de l'engrais, les conditions climatiques, la densité de semis, la variété, l'importance de l'immobilisation microbienne et chimique de l'engrais azoté appliqué. Cette étude a permis de mettre en évidence que le maïs a une bonne réponse à l'azote dans la zone d'étude mais la date de semis peut

jouer un rôle important dans la valorisation de l'azote-engrais par le maïs. Dans la zone d'étude qui correspond à la zone maïsicole du Burkina Faso, même si la longueur de la saison pluvieuse autorise des semis étalés sur presque trois mois, les semis précoces permettent d'obtenir une plus grande efficacité de l'engrais azoté. Les gains de rendement peuvent atteindre 100 % (avec la dose de 101 kg N ha<sup>-1</sup> à Houndé). La productivité de l'azote pour les semis à la date normale et pour la dose de 61 kg N ha<sup>-1</sup> est de 55 kg de grain kg<sup>-1</sup> N sur le site de Houndé ; elle devient 84 kg de grain kg<sup>-1</sup> N en semis précoce. L'effet de la date de semis n'a pas été observé sur le site de Sidéradougou pour les faibles doses d'azote. En tenant compte des prix de l'engrais azoté et du maïs, des doses optimales d'engrais ont été déterminées. Sur le site de Houndé, pour les semis précoces, la dose économique se situe entre 120 et 127 kg N ha<sup>-1</sup> pour des rapports de prix (azote/maïs) variant entre 4 et 9. Pour les semis à la date normale, les doses économiques d'azote varient entre 92 et 106 kg N ha<sup>-1</sup> à l'hectare pour les mêmes rapports de prix.

## Références citées

**AKINTUNDE A.Y., OBIGBESANI G.O. and KIM S.K., 1993.** Nitrogen use efficiency and grain yield as influenced by nitrogen fertilization and hybrid maize varieties in selected agro-ecological zones of Nigeria. In : « Maize improvement, Production and Utilization in Nigeria. Proceedings of the 1991 workshop of the Nationally Coordinated Maize Research Program and the launching of the Maize Association of Nigeria, 3<sup>rd</sup> April 1991, IITA », FAKORODE M.A.B., ALOFE C.O. and KIM S.K. (Eds), Ibadan, Nigeria, 119-124.

**BACYE B., 1993.** Influence des systèmes de culture sur l'évolution du statut organique et minéral des sols ferrugineux et hydromorphes de la zone soudano-sahélienne (Province du Yatenga, Burkina Faso). Thèse de docteur en sciences. Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille. 243 p.

**BARON C., PEREZ P., MARAUX F., 1996.** Bilan hydrique à la parcelle. Module SARABIL, guide d'utilisation. CIRAD-CA. UR « gestion de l'eau ». Montpellier, France. 20 p.

**BATIONO A., 1979.** Effets de N, P et K sur le rendement du maïs-grain, modèles mathématiques et études économiques, stratification des analyses de sol. Thèse pour l'obtention du grade de maîtrise es sciences (M.Sc.), Université Laval. 295 p.

**BATIONO A., CHRISTIANSON C.B. and BAETHGEN W.E., 1989.** Plant density on plant millet production in a sandy soil of Niger. *Agronomy J.* 82 : 290-295.

**BATIONO A. and VLEK P.L.G., 1998.** The role of nitrogen fertilizers applied to food crops in the Sudano-Sahelian zone of West Africa. In : « Soil fertility management in West African. Land Use Systems », RENARD G., NEEF A., BECKER K., and VON OPPEN M. (eds.). Margraf Verlag, Weikersheim, Germany, 41-51.

**BLONDEL D., 1971 a.** Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral : en sol sableux au Sénégal. *L'Agron. Trop.*, 26 (12) : 1303-1333.

**BLONDEL D., 1971 b.** Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral : en sol ferrugineux tropical à Séfa. *L'Agron. Trop.*, 26(12) : 1334-1353.

**BLONDEL D., 1971 c.** Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral en sol ferrugineux tropical à Niéro du RIP. *L'Agron. Trop.*, 26 (12) : 1354-1361.

**BLONDEL D., 1973.** Evolution de l'azote minéral en sol ferrugineux tropical sous culture du mil (*Pennisetum Typhoides*). *Sols africains*, 17(1) : 215- 220.

**BREMAN H., 1998.** Amélioration de la fertilité des sols en Afrique : instrument ou sous-produit de la production durable ? *Agriculture durable*, vol. 3, N° 4 et 5 : 4-14.

**DOMMERGUES Y. et MANGENOT F., 1970.** Ecologie microbienne du sol. Edition Masson, Paris, 796 p.

- ELEMO K. A., 1997.** Extra-early and early maize varieties as affected by rate and time of nitrogen fertilization. In : «Contributing to food self-sufficiency : maize research and development in west and central africa», BADU-APRA-KU B., AKORODA M.O., OUEDRAOGO M. and QUIN F.M. (eds.), Proceedings of a regional maize workshop, 29 may-2 June 1995, IITA, Cotonou, Benin Republic ; WECAMAN, IITA, Ibadan ; Nigeria, 241-246.
- GANRY F., 1990.** Application de la méthode isotopique à l'étude des bilans azotés en zone tropicale sèche. Thèse, Sciences Naturelles, Université de Nancy I, Nancy. 354 p.
- GANRY F. et BADIANE N., 1991.** Utilisation efficace des engrais pour accroître la production végétale : Efficience de l'urée apportée sur le maïs (Sénégal). In «Alleviating Soil Fertility Constraints to Increased Crop Production in West Africa», MOKWUYE A.U, (Ed) Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 227-234.
- GIGOU J. et CHABALIER P.F., 1987.** L'utilisation de l'engrais azoté par les cultures annuelles en Côte d'Ivoire. L'agronomie Tropicale, 42-3, 171-179.
- GIGOU J., 1982.** Dynamique de l'azote minéral en sol nu ou cultivé de région tropicale sèche du Nord Cameroun. Thèse docteur-ingénieur, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 171 p.
- KAMBIRE S.H., 1994.** Systèmes de culture paysans et productivité des sols ferrugineux lessivés du Plateau central (Burkina Faso) : Effets des restitutions organiques. Thèse de doctorat de troisième cycle. Université CAD de Dakar, 188 p.
- MARTIN, C., 1997.** Etude du déterminisme de la nitrification : cas des sols ferrugineux tropicaux cultivés de la zone Sud-Soudanienne du Burkina Faso. Mémoire de DEA. Sciences Agronomiques, INPL-ENSAIA, 30 p.
- PIERI C., 1989.** Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au Sud du Sahara. Ministère de la coopération et CIRAD-IRAT. Paris. La Documentation Française. 444 p.
- SEDOGO P.M., BADO B.V., HIEN V. et LOMPO F., 1991.** Utilisation efficace des engrais azotés pour une augmentation de la production vivrière : l'expérience du Burkina Faso. In : «Alleviating Soil Fertility Constraints to Increased Crop Production in West Africa», A.U. MOKWUYE (Ed), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 115-123.
- TRAORE S. et GIGOU J., 1991.** Utilisation efficace des engrais azotés pour une augmentation de la production vivrière : l'expérience de la Côte d'Ivoire. In «Alleviating Soil Fertility Constraints to Increased Crop Production in West Africa MOKWUYE», A.U. (Ed), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 125-129.
- WEY J., 1998.** Analyse de la variabilité du rendement du maïs (*Zea mays* L) dans l'ouest du Burkina Faso. Thèse de doctorat, INPL, Nancy. 117 p + annexes.