

## Effet de l'apport d'engrais et de matière organique sur le rendement en grains chez le maïs (*Zea mays* L.)

Kabrah Yeboua, N'guettia R. Yao, Goué B. Dea, J.-Y. Couloud

La culture continue (pratique de plusieurs cycles culturaux sur le même terrain), recommandée au paysan ivoirien en vue de lutter contre la déforestation active, est effectivement pratiquée dans les régions à forte densité de population. Comme en agriculture itinérante, le paysan n'apporte pas de fumures et le rendement de la plupart des cultures (maïs, igname, manioc...) baisse après le deuxième cycle cultural (50 % du rendement obtenu au premier cycle [1]), d'où la nécessité d'appliquer des fumures à un coût supportable.

La fertilisation minérale conventionnelle est incompatible avec le contexte économique du paysan ivoirien, étant donné le prix élevé des engrais. Les engrais organiques seuls sont insuffisants pour compenser le faible niveau en éléments nutritifs des sols tropicaux. Ces engrais organiques, de par leurs effets bénéfiques sur les propriétés physico-chimiques et

biologiques du sol [2-4] et, donc, sur la croissance des plantes, permettraient cependant de rendre plus efficace l'utilisation de doses modestes d'engrais minéraux.

Notre expérimentation, réalisée en 1990 et 1991, a étudié la réponse du maïs à des doses variables d'engrais minéraux combinées à de la matière organique.

### Tableau 1

#### Caractéristiques du sol au début de l'expérimentation

Profondeur (cm)	0-30	30-50
Granulométrie (%)		
Argile	5,70	6,30
Limon	2,20	2,30
Sables	90,50	90,10
<b>Propriétés chimiques des 30 premiers centimètres</b>	<b>Sol F</b>	<b>Sol T</b>
pH	5,30	5,40
CEC (mÉq/100 g)	4,40	4,60
Bases échangeables (mÉq/100 g)		
Somme (S)	1,43	1,23
Ca <sup>2+</sup>	1,10	1,10
Mg <sup>2+</sup>	0,20	0,08
K <sup>+</sup>	0,13	0,05
Taux de saturation (%)	33,00	27,00
Carbone total (%)	0,64	0,50
Azote total (%)	0,06	0,05
C/N	11,00	10,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable (ppm)	85,00	63,00

CEC : capacité d'échange cationique.

Sol F : sol ayant reçu de la fumure organo-minérale durant les trois dernières années qui ont précédé le présent essai.

Sol T : sol ayant reçu de la fumure minérale simple durant les trois dernières années qui ont précédé le présent essai.

K. Yeboua : IDEFOR/DPO La Mé, service Agronomie, 13 BP 989, Abidjan 13, Côte d'Ivoire.

N.R. Yao : École nationale supérieure agronomique, laboratoire de Bioclimatologie, 08 BP 35, Abidjan 08, Côte d'Ivoire.

G.B. Dea : IDEFOR/DPL, 01 BP 1536, Abidjan 01, Côte d'Ivoire.

J.-Y. Couloud : ancien stagiaire à l'IIRSDA, BP V 51, Abidjan 01, Côte d'Ivoire.

Tirés à part : K. Yeboua

#### Soil characteristics at onset of experiment

## Summary

### Effect of fertilizer and organic matter application on grain yield of maize (*Zea mays* L.)

K. Yeboua, N.R. Yao, G.B. Dea, J.-Y. Couloud

To improve the stability of food crop production systems in the poorer rural areas of Côte d'Ivoire, soil fertility must be maintained. To study the response of maize crops to organic matter and fertilizer applications, an application technique adapted to the economic situation was tested for two years running. Six treatments, combining 8 t/ha of plant biomass, crop residues and variable doses of mineral fertilizer, were tested.

Combining mineral fertilizer application with that of plant residues increased grain yield (1.7 to 3 times the yield due to fertilizer alone: mean of 1.4 t/ha) by raising the number of seeds per cob.

For intensive maize cultivation on tertiary sandy soils in south-east Côte d'Ivoire, when combined with 8 t/ha of organic matter and crop residues, the following doses of mineral fertilizer could be applied and result in acceptable yields: 225 kg/ha of NPK (10-18-18) and 113 kg/ha of urea, and 150 kg/ha of NPK and 75 kg/ha of urea, respectively representing 75 and 50% of the recommended dose.

Cahiers Agricultures 1996 ; 5 : 189-93.

## Matériels et méthodes

L'essai a été réalisé à la ferme expérimentale de l'Institut international de recherche scientifique pour le développement en Afrique (IIRSDA) d'Adiopodoumé, à 17 kilomètres à l'ouest d'Abidjan (Côte d'Ivoire).

Le cycle pluviométrique y est bimodal, avec une moyenne annuelle de 2 000 millimètres et une grande variabilité interannuelle.

Le sol, très sableux sur les cinquante premiers centimètres (6 % d'argile pour 90 % de sables granulométriques), est ferrallitique appauvri modal, développé sur sables tertiaires avec une pauvreté chimique générale.

La parcelle expérimentale, issue d'une forêt secondaire, a d'abord supporté une vingtaine d'années d'essais agronomiques. Ensuite, après une année de jachère de *Crotalaria*, elle fut soumise à trois années d'exploitation culturale annuelle maïs/arachide, comparant matière organique et engrais sur la parcelle F à engrais seuls sur la parcelle témoin T (tableau 1). Enfin la parcelle,

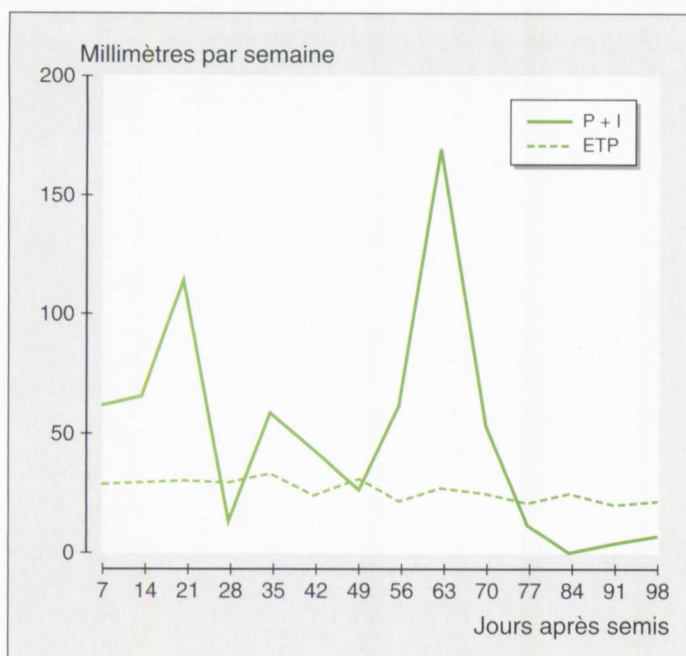


Figure 1. Ressources en eau (P+I) et évapotranspiration potentielle (ETP) durant la première saison culturale (1990).

Figure 1. Water resources (P+I) and potential evapotranspiration (ETP) during the first growing season (1990).

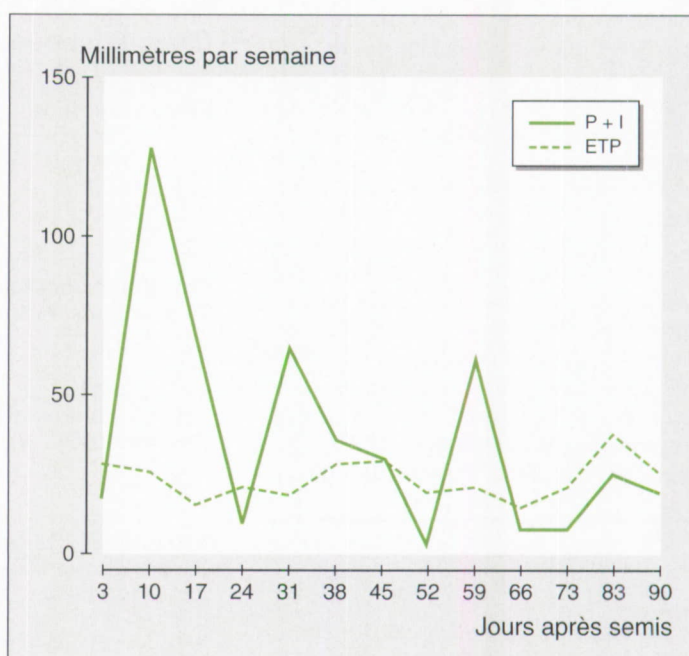


Figure 2. Ressources en eau (P+I) et évapotranspiration potentielle (ETP) durant la deuxième saison culturale (1991).

Figure 2. Water resources (P+I) and potential evapotranspiration (ETP) during the second growing season (1991).



## Tableau 2

Comparaison entre les apports d'engrais minéraux et les besoins totaux (paille + grains) pour la production de 3 t/ha de maïs grain

	Apports minéraux (kg/ha)						Besoins totaux (kg/ha)
	F0	F25	F50	F75	F100	T	
N	0	24,8	49,5	74,3	99	99	64
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	13,5	27,0	40,5	54	54	16
K <sub>2</sub> O	0	13,5	27,0	40,5	54	54	55

Comparison between mineral fertiliser application and total plant requirements for a 3 t/ha maize grain production

## Tableau 3

Composantes du rendement durant les deux saisons culturales (1990 et 1991)

	d	E/P	G/E	PMG	O/E	OAV/E
<b>Première saison culturale 1990</b>						
F0	5,5 <sup>a</sup> *	0,88 <sup>bcd</sup>	304 <sup>b</sup>	218 <sup>a</sup>	530 <sup>b</sup>	44 <sup>bc</sup>
F25	5,2 <sup>a</sup>	0,92 <sup>ac</sup>	331 <sup>ab</sup>	223 <sup>a</sup>	605 <sup>ab</sup>	48 <sup>bc</sup>
F50	5,3 <sup>a</sup>	0,87 <sup>cd</sup>	343 <sup>ab</sup>	215 <sup>a</sup>	631 <sup>ab</sup>	41 <sup>c</sup>
F75	5,5 <sup>a</sup>	0,95 <sup>a</sup>	355 <sup>a</sup>	230 <sup>a</sup>	595 <sup>ab</sup>	45 <sup>bc</sup>
F100	5,4 <sup>a</sup>	0,94 <sup>ab</sup>	333 <sup>ab</sup>	222 <sup>a</sup>	683 <sup>a</sup>	50 <sup>b</sup>
T	4,6 <sup>b</sup>	0,83 <sup>d</sup>	201 <sup>c</sup>	164 <sup>b</sup>	578 <sup>b</sup>	66 <sup>a</sup>
<b>Deuxième saison culturale 1991</b>						
F0	5,5 <sup>a</sup>	0,94 <sup>a</sup>	259 <sup>b</sup>	197 <sup>ab</sup>	576 <sup>a</sup>	55 <sup>b</sup>
F25	5,4 <sup>a</sup>	0,96 <sup>a</sup>	264 <sup>b</sup>	193 <sup>ab</sup>	537 <sup>a</sup>	64 <sup>a</sup>
F50	5,5 <sup>a</sup>	1,00 <sup>a</sup>	263 <sup>b</sup>	204 <sup>ab</sup>	572 <sup>a</sup>	54 <sup>b</sup>
F75	5,3 <sup>a</sup>	0,99 <sup>a</sup>	266 <sup>b</sup>	210 <sup>a</sup>	579 <sup>a</sup>	54 <sup>b</sup>
F100	5,5 <sup>a</sup>	0,99 <sup>a</sup>	316 <sup>a</sup>	220 <sup>a</sup>	607 <sup>a</sup>	48 <sup>b</sup>
T	5,0 <sup>a</sup>	0,94 <sup>a</sup>	182 <sup>c</sup>	177 <sup>b</sup>	507 <sup>a</sup>	64 <sup>a</sup>

d : densité de peuplement (plantes/m<sup>2</sup>).

E/P : nombre d'épis par plante.

G/E : nombre de grains par épi.

PMG : poids moyen (mg) du grain.

O/E : nombre d'ovules par épi.

OAV/E : nombre d'ovules avortés (%) par épi.

F0, F25, F50, F75, F100, T : traitements testés.

\* Les valeurs suivies de la même lettre en colonne ne sont pas significativement différentes à la probabilité de 5 % (test de Duncan).

### Yield components for the two growing seasons (1990 and 1991)

pendant deux années successives, a servi de support à la présente expérimentation qui a mis en jeu six traitements :

– F100, apport de matière organique et d'engrais minéraux à la dose recommandée (DR) [5, 6] ;

– F75, apport de matière organique et de 75 % de la DR ;

– F50, apport de matière organique et de 50 % de la DR ;

– F25, apport de matière organique et de 25 % de la DR ;

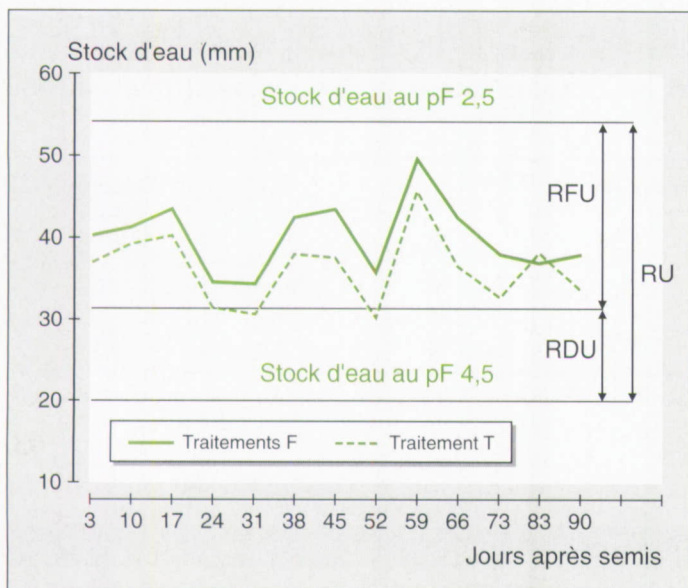
– F0, apport de matière organique sans DR ;  
– T (témoin), apport de la DR sans matière organique.

La dose d'engrais minéraux recommandée, de 300 kg/ha de NPK (10-18-18) et de 150 kg/ha d'urée, correspond à une production estimée de 3 t/ha de maïs grain en culture intensive.

La quantité de biomasse sèche du fourrage de *Panicum*, apportée dans les traitements F (fumure organo-minérale), a été fixée à 8 t/ha, ce qui est proche des

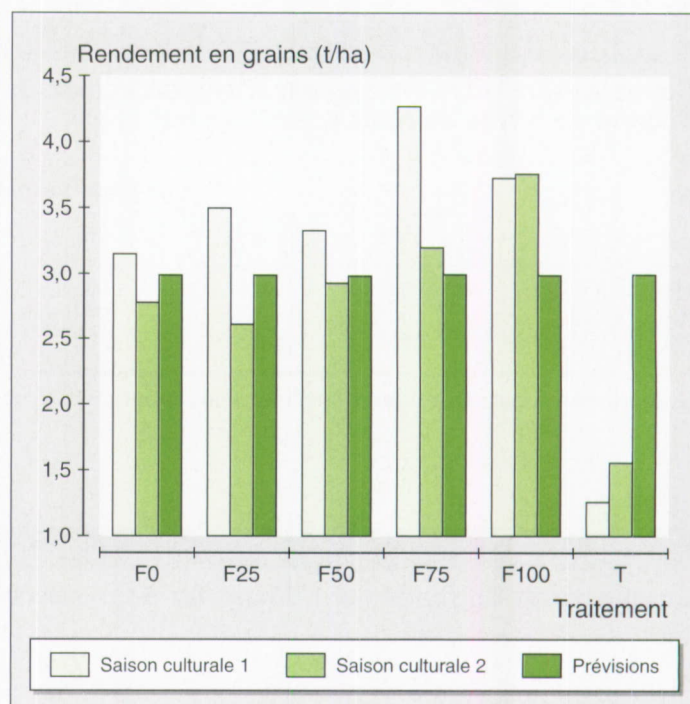
10 t/ha/an de matière sèche végétale apportée au sol sous forêt sempervirente [7]. Elle est comparable à une jachère de *Pueraria* qui produit, en moyenne et en 18 mois, une quantité de biomasse sèche semblable.

Les traitements F ont été disposés en blocs de Fisher comportant trois répétitions et un total de quinze parcelles élémentaires. Le traitement T, avec trois répétitions, a été appliqué sur la parcelle T, adjacente à la première. Les dimen-



**Figure 3.** Caractéristiques hydriques du sol durant la deuxième saison culturale (1991).

**Figure 3.** Soil water characteristics during the second growing season (1991).



**Figure 4.** Rendement en grains du maïs pour les deux saisons culturales (1990 et 1991). F0, F25, F50, F75, F100 et T : traitements.

**Figure 4.** Maize grain yield during the first and second growing seasons (1990 and 1991). F0, F25, F50, F75, F100 and T : treatments.

sions d'une parcelle élémentaire sont de 10 x 3,2 mètres pour les traitements F et de 16 x 5 mètres pour le traitement T.

## Conduite de l'expérimentation

Le cycle végétatif du maïs a été ajusté par rapport à la grande saison des pluies (avril-juillet) pour que la floraison (très sensible à un déficit hydrique) coïncide avec le mois de juin très pluvieux.

Pour les traitements F, le fourrage de *Panicum* et les résidus de la récolte précédente ont été, pour chaque saison culturale, enfouis à la main (au moyen de *daba*) deux semaines environ avant le semis. Pour le traitement T, les résidus de récolte ont été brûlés sur place. Les quantités de résidus de récolte (incorporés au sol ou brûlés) étaient, en moyenne, de 5,9 t/ha de paille de maïs + fanes d'arachide et de 3,6 t/ha de paille de maïs pour les traitements F contre 3,8 et 1,5 t/ha pour le traitement T.

L'hybride de maïs Ferké 7928, dont le cycle végétatif est de 90 jours environ, a été semé en poquets selon un dispositif de 0,6 mètre entre les lignes et de

0,3 mètre entre les poquets. Le semis a été effectué les 22 et 23 avril 1990 pour la première saison culturale et retardé jusqu'aux 18 et 19 juin 1991 pour la deuxième. Avec deux graines par poquet et un démarriage effectué 20 jours après semis, la densité (55 555 plantes à l'hectare) était environ dix fois supérieure à celle qu'un paysan pratique dans les systèmes associés.

L'engrais NPK (10-18-18) a été appliqué au semis et l'urée au début de la phase de montaison (30 jours environ après le semis). La mobilisation totale de NPK (paille + grains) est calculée à partir de la biomasse de paille (tige + feuilles), de celle des grains ainsi que des teneurs correspondantes.

Trois désherbages manuels ont été effectués 15, 30 et 70 jours après le semis.

Des apports d'eau par aspersion, conditionnés par l'état de flétrissement des plantes, ont été effectués. Le stock hydrique des trente premiers centimètres du sol a été mesuré chaque semaine à l'aide d'une sonde à neutrons (type SOLO 25). Les humidités du sol au point de flétrissement permanent (pF 4,2) et à la capacité de rétention (pF 2,5) ont été déterminées au laboratoire.

La réserve utile d'eau (RU) correspond à la différence entre les stocks hydriques au pF 2,5 et au pF 4,2. La réserve facilement utilisable (RFU) est obtenue à partir de la formule :  $RFU = 2/3 \times RU$ .

L'effet des traitements a été apprécié au niveau des composantes du rendement (densité effective à la récolte, nombre d'épis par plante, nombre de grains par épi, nombre d'ovules par épi, poids moyen du grain).

L'estimation du rendement en grain a été faite à partir du poids sec des graines récoltées au stade de la maturité physiologique sur une placette (6 m<sup>2</sup>), choisie de façon aléatoire dans chaque parcelle élémentaire.

## Résultats

### Facteurs physiques environnementaux

Pendant la première saison (figure 1), la culture a reçu 688 millimètres d'eau dont 635 de pluie et 53 par irrigation



durant les trente premiers jours après semis (JAS).

Deux périodes de déficit hydrique ont été observées entre les 21<sup>e</sup> et 28<sup>e</sup> JAS et à partir du 77<sup>e</sup> JAS. Au cours de la deuxième saison (figure 2), un total de 498 millimètres d'eau s'est réparti en 364 de pluie et 134 par irrigation. Trois périodes de déficit hydrique ont été enregistrées entre les 17<sup>e</sup> et 24<sup>e</sup> JAS, les 45<sup>e</sup> et 52<sup>e</sup> JAS et à partir du 66<sup>e</sup> JAS.

Ces déficits hydriques, pour le traitement sans matière organique, se sont traduits par une baisse prononcée du stock en eau des trente premiers centimètres du sol, atteignant, entre les 17<sup>e</sup> et 31<sup>e</sup> JAS, et entre les 45<sup>e</sup> et 52<sup>e</sup> JAS, le niveau de la réserve difficilement utilisable (figure 3).

Les apports minéraux (azote et potasse notamment) par application d'engrais (tableau 2), pour F25 et F50, paraissent faibles par rapport aux besoins totaux de la culture pour produire 3 t/ha de maïs grain.

## Rendement en grains

Au cours de la première saison culturale, le rendement en grains des traitements F a été 2,5 à 3 fois supérieur à celui du traitement témoin (1,26 t/ha). Cette tendance à la hausse correspond à l'augmentation de la dose d'engrais et le niveau maximum (4,27 t/ha) a été obtenu avec le traitement F75. Durant la deuxième saison culturale, le rendement en grains des traitements F a été 1,7 à 2 fois plus élevé que celui du traitement témoin (1,57 t/ha). Le niveau maximum (3,76 t/ha) a été enregistré avec le traitement F100 (figure 4). Ces rendements (excepté celui des traitements F100 et T) ont été plus faibles (de 11 à 25 %) que ceux de la première saison culturale.

Le rendement en grains, sur les deux saisons culturales, a été voisin ou supérieur au rendement de référence (3 t/ha) pour les traitements F alors que, pour le traitement T, il est toujours demeuré inférieur.

## Composantes du rendement

L'apport de matière organique en première saison culturale a favorisé les composantes du rendement (tableau 3), exception faite des nombres d'épis par plante et d'ovules par épi. Ainsi, la densité de peuplement effective à la récolte a varié entre 5,2 et 5,5 plantes/m<sup>2</sup> contre 4,6 plantes/m<sup>2</sup>, le nombre de grains par

épi entre 304 et 333 contre 201, le poids moyen du grain entre 215 et 230 milligrammes contre 164 et le nombre d'ovules avortés par épi entre 41 et 50 % contre 66 % pour le témoin.

En deuxième saison culturale, l'effet favorable de la matière organique a, pour tous les traitements F, été significatif sur le nombre de grains par épi, variant entre 259 et 316 contre 182 pour le témoin. Cette influence bénéfique de la matière organique ne devient nette que pour les traitements F50, F75 et F100 sur le poids moyen du grain compris entre 204 et 220 milligrammes contre 177 et sur le nombre d'ovules avortés par épi compris entre 48 et 54 % contre 64 % pour le témoin.

Avec l'apport organique, la tendance à l'augmentation du nombre de grains par épi et du poids moyen du grain avec la dose d'engrais a été plus évidente en deuxième saison culturale qu'en première. Au cours de la deuxième saison culturale, une bonne partie du cycle végétatif, à cause du retard dans le semis, s'est déroulée durant la petite saison sèche, très nuageuse, provoquant des baisses fréquentes et importantes du rayonnement solaire global, ce qui pourrait être à l'origine de la diminution interannuelle du rendement en grains. Le rendement en grains constant de F100 suggère que cette situation de nutrition minérale a conféré à la plante une plus grande résistance à l'effet limitatif du rayonnement solaire global insuffisant. La hausse du rendement en grains, due en partie à l'augmentation de la densité effective à la récolte et du nombre d'épis fertiles par plante, indique que le rayonnement solaire global, pour T, n'est pas le facteur limitatif principal.

L'alimentation hydrique insuffisante avant la floraison (premier mois après le semis), avec une limitation possible de l'ordre de 30 % [8], et, au cours de la deuxième saison culturale, durant la floraison, stade très sensible au stress hydrique [5], a dû défavoriser le rendement en grains du traitement T. Pour les traitements F, l'alimentation hydrique de la culture a été favorisée, le long du cycle végétatif, par la matière organique qui a maintenu le stock en eau du sol dans le domaine de la réserve facilement utilisable, en réduisant sans doute l'évaporation. La nutrition minérale de la culture a pu également être influencée par la matière organique, à travers des processus microbiologiques dont elle favoriserait le développement [9]. La culture,

ainsi bien établie parce que mieux nourrie avec les traitements F qu'avec le traitement T, utiliserait plus efficacement les ressources minérales disponibles.

Il apparaît que l'apport concomitant de matière organique et d'engrais favorise l'alimentation hydrique et la nutrition minérale du maïs, ce qui accroît le rendement en grains. La mise en pratique de cette technique en culture de maïs permettrait de réduire, avec un rendement en grains encore acceptable, l'apport d'engrais jusqu'à la moitié de la dose recommandée [150 kg/ha de NPK (10-18-18) et 75 kg/ha d'urée]. L'ajustement du cycle végétatif par rapport à la grande saison des pluies semble fondamental en la matière. Ces résultats devraient être éprouvés sur le moyen, voire le long terme ■

## Références

1. Godo G, Yoro G. *Recherche sur les systèmes de culture à base de manioc en milieu paysan dans le Sud-Est ivoirien (Bonoua-Adiaké). Deuxième phase : résultats d'enquêtes et observation au champ.* Document ORSTOM. Centre d'Adiopodoumé, Côte d'Ivoire, 1985 ; 15 p.
2. Bell LC, Edwards DG. The role of aluminium in acid soil infertility. In : *IBSRAM Proceedings n° 5.* Bangkok : IBSRAM, 1986 : 201-23.
3. Fernandes ECM, Sanchez PA. The role of organic inputs and soil organic matter for nutrient cycling in tropical soils. In : *Organic-matter management and tillage in humid and subhumid Africa. Proceedings n° 10.* Bangkok : IBSRAM, 1990 : 169-87.
4. Godo GH, Yeboua K. *Organo-inorganic fertilization and the maintenance of crop yields in southern Côte d'Ivoire.* Poster paper presented at the international workshop on sustainable land management for the 21st century. Lethbridge, Alberta, Canada : The University of Lethbridge, 20-26 juin 1993.
5. Rouanet G. *Le maïs : le technicien d'agriculture tropicale.* Paris : Éd. Maisonneuve et Larose, 1984 ; 122 p.
6. Subreville. *La culture du maïs en Côte d'Ivoire.* Manuel technique pour l'encadrement de la SATMACI et de la SODEPALM, 1986 ; 51 p.
7. Boyer J. *Les sols ferrallitiques. Facteurs de fertilité et utilisation des sols.* Initiations-documentations techniques n° 52, T. X. Paris : Éd. ORSTOM, 1982 ; 384 p.
8. Gay JP, Bloc D. Détermination des composantes du rendement en grain. In : Gallais A, éd. *Physiologie du maïs.* Paris : INRA, 1983 : 181-92.
9. Myers RJK, Palm CA, Guevas E, Gunatilleke IUN, Brossard M. The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand. In : Woomer PL, Swift MJ, eds. *The biological management of tropical soil fertility.* 1994 : 81-116.