

Fertilisation et succession des cultures vivrières au sud du Togo : synthèse d'une expérimentation de longue durée sur terres de barre

H. SARAGONI (1), R. POSS (2),
J. MARQUETTE (3), E. LATRILLE (3)

RÉSUMÉ – Au sud du Togo, où la pluviométrie annuelle est d'environ 1 000 mm en deux saisons, la pression démographique entraîne la disparition de la jachère de longue durée, qui n'est pas remplacée par de nouvelles techniques régénératrices de la fertilité. Il s'ensuit une dégradation des sols, essentiellement liée à une diminution de la fertilité chimique et à une déstructuration des horizons de surface. L'évolution des rendements et de la fertilité des sols a été suivie sur deux essais factoriels NPK de longue durée comprenant différentes successions culturales à base de maïs, de manioc, de niébé et d'arachide. Des techniques réalistes, susceptibles d'enrayer le processus d'épuisement des sols, et même de régénérer les sols les plus dégradés, sont proposées. Elles reposent principalement sur l'application d'une fertilisation minérale modérée, dans laquelle l'apport de potassium joue un rôle essentiel, et sur la définition de deux assolements, différents selon l'état d'épuisement des sols. Le manioc revient d'autant plus souvent dans la rotation que la dégradation du sol est plus prononcée. Le maïs n'est cultivé qu'en première saison de culture, le niébé ou l'arachide le remplaçant pour la seconde saison.

Mots clés : fertilisation minérale, azote, phosphore, potassium, rotation culturale, maïs, manioc, niébé, arachide, dégradation des sols, terres de barre, Togo.

Dans de nombreuses régions du monde, la production agricole croît moins vite que la population. C'est le cas au Togo où, ces quinze dernières années, les principaux produits vivriers de base ont connu une progression d'ensemble d'environ 14 %, alors que le taux global d'accroissement démographique a été de 56 % (SCHWARTZ, 1989). Du fait d'un rapide développement urbain, et en dépit d'importations de denrées alimentaires, la ration journalière est passée de 2 200 à 1 850 calories par habitant et les maladies de malnutrition chez les enfants de 0 à 4 ans (marasme, kwashiorkor...) ont été multipliées par huit (ANDRE, 1990).

(1) DRA-IRAT, BP 1163, Lomé, Togo.

Adresse actuelle : CNRADA-Kaédi, s/c MAC, BP 203, Nouakchott, Mauritanie.

(2) ORSTOM, UR2B, DPVE, 13108 Saint-Paul-lès-Durance Cedex, France.

(3) CIRAD-IRAT, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France.
Adresse actuelle d'E. LATRILLE : CIRAD-IRAT, BP 2572, Yaoundé, Cameroun.

C'est au sud du pays que la situation est la plus critique. La région maritime, qui couvre 11 % du territoire, nourrit en effet 45 % de la population du pays (3 500 000 habitants, dont 600 000 dans la capitale). Si l'on ne considère que les terres disponibles pour l'agriculture, la densité rurale de cette zone est de 180 habitants au kilomètre carré et la production alimentaire journalière par habitant est de 1 580 calories (770 pour le manioc, 750 pour le maïs, 40 pour l'arachide et 20 pour le niébé). Les rendements sont faibles pour l'ensemble de la zone : ces cinq dernières années, ils ont été de 8 t ha⁻¹ pour le manioc, de 800 kg ha⁻¹ pour le maïs, de 400 kg ha⁻¹ pour l'arachide et de 300 kg ha⁻¹ pour le niébé. Si la production agricole n'augmente pas rapidement, la situation alimentaire s'aggravera encore, avec une population rurale, analphabète à 70 %, qui continue à s'accroître à un rythme de 3,4 % par an (ANDRE, 1990).

Pour améliorer la production agricole, il est difficile d'intensifier l'agriculture traditionnelle. Celle-ci repose en effet sur l'usage de la jachère, qui disparaît progressivement dès que les densités dépassent 60 habitants au kilomètre carré (PIERI et MOREAU, 1986). Par ailleurs, les techniques agricoles améliorées sont encore peu introduites dans cette région : le seul instrument aratoire utilisé est la « daba » (houe), et seulement 12 % des superficies cultivées reçoivent des semences sélectionnées et des engrais.

Une des premières améliorations proposées est donc la mise en place d'autres modes de gestion des sols. Il sera montré, au vu des résultats expérimentaux, qu'il est possible de maintenir des rendements voisins de ceux observés juste après une jachère suffisamment longue pour reconstituer le niveau de fertilité du sol, et deux à quatre fois plus élevés que ceux obtenus par les paysans de la région. Pour cela, différentes fumures et successions culturales seront comparées à partir des résultats d'une expérimentation de terrain de longue durée.

Matériel et méthode

L'effet de la fertilisation sur le rendement des principales plantes vivrières de la région a été étudié à partir d'un essai NPK conduit simultanément, pendant quatorze ans (1976-

1989), sur deux stations expérimentales représentatives : le site de Davié, près de Tsévié, pour les terres de barre non dégradées, et le site d'Agbomédji, près d'Aného, pour les terres de barre dégradées (DOMÉ, 1985). Les études ont porté sur les deux plantes qui constituent la base de l'alimentation de la région, le maïs et le manioc, et sur deux légumineuses, l'arachide et le niébé, utilisées dans les préparations culinaires.

Milieu naturel

Sols et dégradation

Les terres de barre sont des sols ferrallitiques rouges (*rhodic Ferralsols*) sans éléments grossiers, qui se sont formés au cours du quaternaire à partir d'un dépôt continental. Elles s'étendent du Ghana au Nigeria et forment, pour la partie Togo-Bénin, une bande côtière de 30 à 120 kilomètres de largeur (LOUETTE, 1988). Au Togo, elles constituent la majorité des sols de la région et sont organisées selon un schéma qui a été présenté précédemment (POSS et SARAGONI, 1987).

Maintes fois décrits (VIEILLEFON et MILLETTE, 1965 ; FAUCK, 1972 ; RAUNET, 1973), ces sols ont depuis longtemps été étudiés sous l'aspect de leur dégradation (DABIN, 1956). Ce n'est que récemment qu'ont pu être définies des méthodes culturales permettant d'obtenir des rendements améliorés durables. En particulier, WERTS (1979) et MARQUETTE (1986a) ont montré que les rendements en maïs pouvaient être considérablement accrus en associant labour et apport de fumure organique.

La texture des terres de barre présente une certaine variabilité latérale à l'échelle régionale : la zone où les sols sont les plus dégradés correspond au pôle le plus sableux, sans qu'il ait été possible de prouver un effet de la surexploitation du milieu sur la diminution des teneurs en argile. Les deux stations étudiées rendent compte de cette organisation spatiale. Sur la station d'Agbomédji (terres de barre dégradées), la teneur en argile est de 6 % dans les vingt premiers centimètres contre 13 % à Davié ; cette différence se retrouve jusqu'à plus de deux mètres de profondeur. Il en résulte des propriétés physiques et chimiques différentes. La réserve hydrique utile est en particulier plus faible à Agbomédji qu'à Davié : 15 mm contre 25 mm sur les vingt premiers centimètres, 100 mm contre 120 mm sur la tranche 0-150 cm (FRETEAUD *et al.*, 1987). Cette différence est accentuée par un ruissellement qui augmente avec la dégradation organique des sols, et qui peut atteindre jusqu'à 80 % lors des plus fortes averses (POSS *et al.*, 1989-1990). Les réserves hydriques accessibles aux racines des plantes sont donc plus faibles dans les sols dégradés, ce qui constitue une contrainte supplémentaire à leur mise en valeur dans cette région à pluviométrie limitante.

Les principales caractéristiques chimiques des horizons de surface constatées en 1976, au début de l'essai — après deux

années de jachère à Davié et après une seule année de jachère à Agbomédji —, sont regroupées dans le tableau I.

On observe que :

- les pH eau sont comparables (environ 5,5) ;
- les teneurs en matière organique et en azote total sont environ deux fois plus faibles sur les sols dégradés (0,6 % contre 1,1 % pour le taux de matière organique et 0,2 contre 0,4 ‰ pour la teneur en azote total) ;
- les plus faibles teneurs en argile et en matière organique des sols dégradés (Agbomédji) produisent un appauvrissement plus prononcé du complexe d'échange : 1,3 contre 1,9 mé 100 g⁻¹ pour la somme des bases, 2,0 contre 2,8 mé pour la capacité d'échange cationique. Cette caractéristique concerne tous les cations, mais il faut spécialement mentionner le potassium, dont la teneur n'est que de 0,08 mé 100 g⁻¹ à Agbomédji dès le début de l'essai ;
- les teneurs en phosphore Olsen Dabin sont plus élevées à Agbomédji (14 contre 10 ppm), ce qui est lié à la proximité d'un gisement de phosphate.

Pluviométrie et rendements

Le sud du Togo est soumis à un climat subéquatorial (guinéen) à deux saisons des pluies, ce qui permet deux saisons de culture. La pluviométrie annuelle moyenne présente un fort gradient. Elle varie de 800 mm à Lomé, sur la côte du golfe de Guinée, à 100 mm cinquante kilomètres plus au nord. En raison d'un ensoleillement limité — 170 heures d'insolation mensuelle moyenne à Tabligbo pour la période 1975-1988 — et d'une forte humidité relative moyenne (80 %), la demande évaporative évaluée par le bac d'évaporation de classe A reste comprise entre 4 et 5 mm par jour pendant les deux saisons de culture.

La pluviométrie de ces deux saisons est différente. Entre les mois d'avril et de juillet, au cours de la première saison des pluies — appelée également grande saison des pluies —, elle est en moyenne de 500 mm. Cet apport est suffisant pour assurer une culture de maïs dans de bonnes conditions d'alimentation hydrique, d'autant plus que, en calant correctement le cycle cultural, le maximum des pluies correspond à la phase critique de développement du maïs (tableau II). La seconde saison des pluies — ou petite saison des pluies —, est en revanche très courte, de mi-septembre à mi-novembre, et la pluviométrie y est faible et variable (de 100 à 300 mm). En raison du gradient climatique, la production agricole, en particulier celle du maïs dans la moitié sud de la région, est donc aléatoire (POSS *et al.*, 1988). Ainsi, à Agbomédji, même en optimisant le calage du cycle, le maïs ne dispose que de 100 mm de pluie pendant la période critique qui encadre la floraison mâle (tableau II).

La pluviométrie moyenne saisonnière des 14 années d'expérimentation est représentative des 52 dernières années (tableau II). Les conclusions des essais peuvent donc être extrapolées sur une longue période, étant donné qu'il n'y a pas d'évolution de la pluviométrie au cours du temps dans cette zone (SEGUIS, 1988).

Tableau I. Evolution des caractéristiques chimiques de l'horizon de surface (0-20 cm) des sols à Davié et Agbomédji en fonction de leur histoire culturale.

Elément	□ Davié					
	Forêt sacrée (100 ans)	Jachère (10 ans)	NPK			
			1976 (jachère 2 ans)	1987		
			0-0-0	1-1-1	2-2-2	
Argile	14,0	12,9	8,1	12,9	17,0	12,5
Matière organique						
m.o. (%)	2,88	1,71	1,05	0,89	1,16	1,10
N total (‰)	1,47	0,83	0,42	0,40	0,55	0,54
Phosphore (ppm)						
Total	347	197	226	176	238	267
Olsen Dabin	21	9	10	8	25	48
Complexe absorbant (mé 100 g⁻¹)						
Ca	7,60	2,10	1,21	1,40	1,65	1,70
Mg	2,30	1,45	0,58	0,65	0,70	0,65
K	0,60	0,26	0,12	0,08	0,16	0,33
Na	0,06	0,04	0,03	0,04	0,06	0,05
Somme des bases (mé 100 g ⁻¹)	10,56	3,85	1,94	2,17	2,57	2,73
CEC (mé 100 g ⁻¹)	9,65	5,60	2,80	2,55	3,50	4,45
Saturation (%)	109	69	69	85	73	61
pH eau	7,2	5,4	5,5	5,8	5,6	5,4

Elément	□ Agbomédji					
	Forêt sacrée (30 ans)	Jachère (10 ans)	NPK			
			1976 (jachère 1 an)	1987		
			0-0-0	1-1-1	2-2-2	
Argile	12,0	6,4	6,5	7,0	6,2	6,3
Matière organique						
m.o. (%)	1,67	0,75	0,59	0,44	0,42	0,46
N total (‰)	0,81	0,23	0,23	0,22	0,23	0,24
Phosphore (ppm)						
Total	310	310	194	190	204	243
Olsen Dabin			14	18	35	72
Complexe absorbant (mé 100 g⁻¹)						
Ca	2,09	0,96	0,79	0,70	0,75	0,70
Mg	0,60	0,53	0,40	0,35	0,30	0,30
K	0,20	0,14	0,08	0,06	0,17	0,27
Na	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
Somme des bases (mé 100 g ⁻¹)	2,94	1,66	1,30	1,15	1,26	1,31
CEC (mé 100 g ⁻¹)	3,67	2,38	2,00	2,50	1,40	1,10
Saturation (%)	80	70	65	46	90	119
pH eau	5,6	5,7	5,6	6,2	5,7	5,8

Tableau II. Pluviométrie au cours du cycle cultural du maïs sur les stations de Davié et d'Agbomédji (valeurs 1938-1989 calculées pour un calage optimal du cycle cultural).

Site	Période	Moyenne de pluviométrie (mm)				Année
		Première saison		Seconde saison		
		Cycle	PC*	Cycle	PC*	
Davié	1976-1989	470	220	300	130	1030
	1938-1989	490	240	300	140	1060
Agbomédji	1976-1989	560	290	220	100	960
	1938-1989	580	310	220	110	1000

* Période critique : du 30^e au 70^e jour, pour un maïs de 110 jours fleurissant à 50 jours.

L'étude des relations entre le rendement du maïs et certaines caractéristiques du bilan hydrique a permis de montrer que le maïs est très sensible aux stress hydriques, surtout lorsqu'ils se produisent au cours d'une période critique qui encadre la floraison mâle, du 30^e au 70^e jour du cycle cultural (Poss et al., 1988). Pour l'arachide et le niébé, légumineuses mieux adaptées à la sécheresse car leurs cycles culturaux sont plus courts que celui du maïs, la pluviométrie, lorsqu'elle n'est pas trop irrégulière, est un facteur beaucoup moins limitant

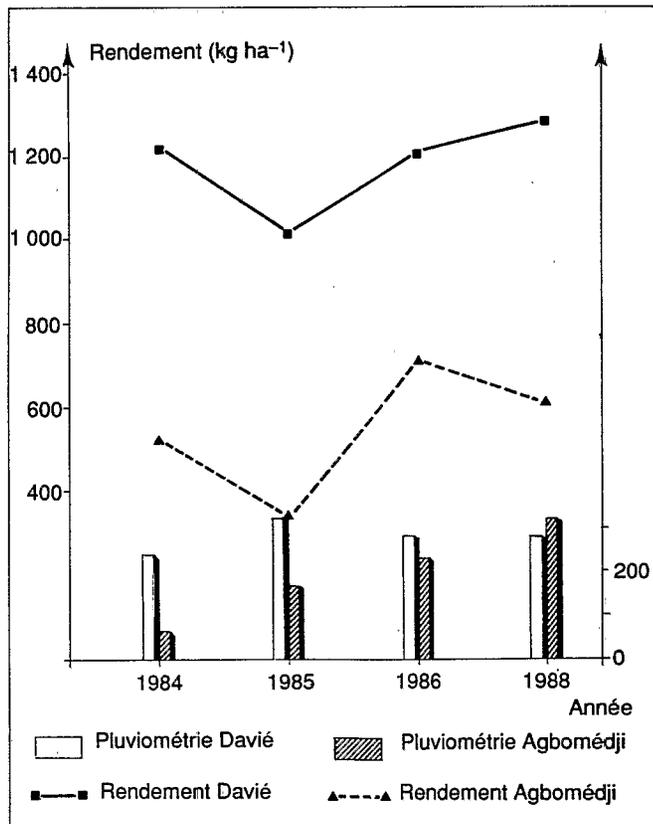


Figure 1. Rendement maximal en niébé et pluviométrie du cycle cultural, à Davié et Agbomédji.

de la production (figures 1 et 2). Il a ainsi été possible d'obtenir, en seconde saison, 1 100 kg ha⁻¹ d'arachide à Agbomédji avec 120 mm de pluie, et 1 200 kg ha⁻¹ de niébé à Davié avec 250 mm, dans des conditions de bonne répartition des pluies, d'hygrométrie élevée, et avec une forte rosée matinale. Bien que le rendement en manioc soit en partie fonction de la satisfaction des besoins en eau, cette euphorbiacée résiste généralement bien à la sécheresse. Il en est ainsi des variétés cultivées au sud du Togo, qui ne semblent pas subir de stress hydriques importants.

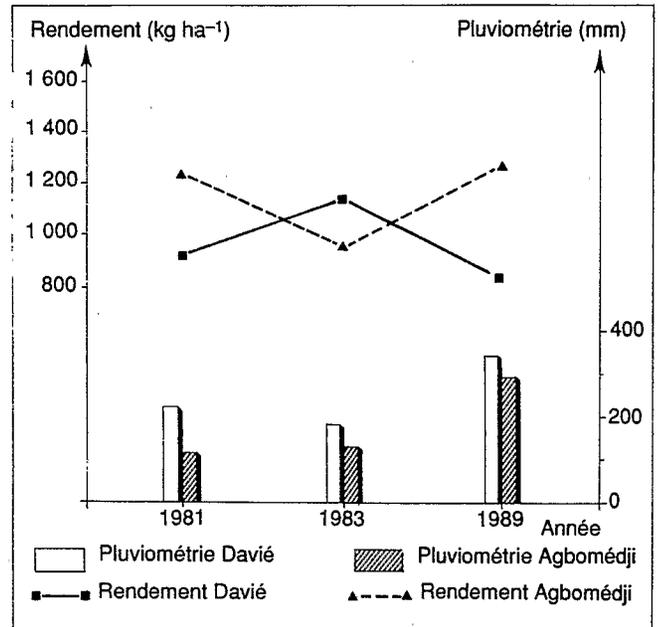


Figure 2. Rendement maximal en arachide et pluviométrie du cycle cultural, à Davié et Agbomédji.

Expérimentation

Traitements et successions culturales

Lors de sa mise en place en 1976, l'essai NPK (factoriel 3³ avec confondu à deux répétitions) avait les objectifs suivants :

- diagnostiquer les principales carences minérales en N, P et K ;
- établir des formules de fumure « économiques », grâce à un nombre élevé de combinaisons (27) ;
- étudier l'arrière-effet des doses de phosphore et de potassium apportées à une culture de maïs en première saison sur une seconde culture de maïs en petite saison (sans apport d'engrais).

Jusqu'en 1981, les résidus de culture furent exportés des parcelles. A partir de 1981, l'étude de l'arrière-effet fut stoppée pour introduire des légumineuses dans la succession culturale. Les parcelles élémentaires originelles, de 72 m², furent alors subdivisées en deux sous-parcelles (A et B) de 28,8 m² utiles. Le sous-traitement A continua à recevoir une

double culture annuelle de maïs. Le sous-traitement B fut toujours cultivé en maïs au cours de la première saison, mais reçut une légumineuse (arachide ou niébé) en seconde saison. Des formules de fertilisation complète furent alors testées sur les cultures de seconde saison (tableau III) et les résidus de récolte enfouis.

De plus, une culture de manioc fut testée à Agbomédji en 1984 (cycle cultural de 1 an), et le sorgho substitué au maïs de première saison en 1979, et à celui de seconde saison en 1982. Enfin, en petite saison de 1976, l'arachide remplaça le maïs à Davié et aucun semis ne put être effectué à Agbomédji (8 mm de pluie pour toute la saison des pluies).

Pour le maïs de grande saison, l'étude porte donc sur 13 campagnes à Davié et sur 12 à Agbomédji. Pour le maïs de petite saison, elle porte sur 12 campagnes à Davié et sur 11 à Agbomédji. Pour l'arachide, nous n'avons retenu que les trois années communes (1981, 1983 et 1989). Pour le niébé, quatre années ont été retenues (1982 à Agbomédji et 1984 à Davié, 1985, 1986 et 1988). La forme de la réponse à un facteur (linéaire ou quadratique) ne fut étudiée que lorsque les interactions impliquant ce facteur n'étaient pas significatives.

Les engrais — urée, superphosphate triple (20 % de CaO) et chlorure de potassium — sont appliqués à la volée et légèrement enfouis. Le phosphore et le potassium sont épandus au semis, alors que l'apport d'azote est fractionné :

pour le maïs, une moitié au démarrage et l'autre moitié quelques jours avant la floraison mâle ; pour le manioc, une moitié à la reprise et l'autre moitié à 50 jours, au deuxième sarclage.

Calendriers et techniques culturales

Le sol n'est labouré qu'une seule fois par an, au début de la grande saison des pluies, faute de temps en seconde saison. Ce labour est effectué à la « daba » sur une profondeur de 10 à 20 cm. C'est lors de ce labour annuel que furent enfouis, à partir de 1981, les résidus de récolte. Ceux-ci sont couchés entre les lignes de semis après chaque récolte, ce qui favorise leur attaque par la microfaune du sol, et donc leur enfouissement ultérieur.

Les semis sont effectués après une pluie de 15 à 20 mm. En moyenne, malgré d'inévitables variations saisonnières, la mise en place a pu être réalisée vers le 10 avril en première saison, et vers le 10 septembre en seconde saison (tableau IV) au cours de la période étudiée. Le maïs est semé à une densité de 42 000 plants ha⁻¹, l'arachide à 120 000 plants ha⁻¹, le niébé à 100 000 plants ha⁻¹, et le manioc à 10 000 plants ha⁻¹. Deux sarclages manuels sont généralement nécessaires pour chacune des cultures, ainsi que trois à cinq traitements insecticides sur le niébé. Les productions sont exprimées en grains (12 à 13 % d'eau) pour le maïs, en coques sèches pour l'arachide, en grains secs pour le niébé et en manioc frais.

Tableau III. Fertilisation minérale moyenne des principales plantes étudiées, en kilos par hectare.

Plante	Saison	Période	N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
			N1	N2	P1	P2	K1	K2
Maïs	Première saison	1976-1989	15 + 15	30 + 30	30	60	30	60
		1976-1980	15 + 15	30 + 30	0	0	0	0
	Seconde saison	1981-1989	15 + 15	30 + 30	30	60	30	60
		Moyenne pondérée	15 + 15	30 + 30	20	40	20	40
Arachide	Seconde saison	Trois ans	10	20	20	40	30	60
Niébé	Seconde saison	Cinq ans	0	0	30	60	30	60
Manioc (Agbomédji)	Année	1984	15 + 15	30 + 30	45	90	45	90

Tableau IV. Variétés utilisées et saisons de culture (moyennes sur quatorze années).

Caractéristiques	Première saison des pluies	Seconde saison des pluies			Année
Culture					
• plante	Maïs	Maïs	Arachide	Niébé	Manioc
• variété	NH 1	NH 1	61-24	Vita 5	312-524
Calendrier moyen					
• semis	10 avril	10 septembre	10 septembre	10 septembre	25 avril
• récolte	30 juillet	25 décembre	10 décembre	25 novembre	15 avril
Cycle moyen (jours)					
• semis - début floraison	50	50	25	40	
• semis - récolte	110	105	90	75	355

Résultats et discussion

Les rendements et leur évolution

Maïs

Grande saison des pluies. Les résultats obtenus en 1976, première année de l'essai, sont comparés à ceux de l'année 1989, soit quatorze ans plus tard, en suivant leur évolution au cours du temps. Les chiffres de l'année 1989 sont en effet représentatifs de la situation à la fin de l'essai, et la pluviométrie de 1989, bien que légèrement supérieure, fut comparable à celle de 1976.

Dès la première année d'expérimentation (tableau V), les résultats des deux stations diffèrent considérablement :

– le rendement moyen de l'ensemble de l'essai est supérieur de 65 % à Davié (2 800 kg ha⁻¹ contre 1 700 à Agbomédji) ;

– les réponses aux apports d'engrais ne sont significatives que pour l'azote à Agbomédji, et que pour le phosphore à Davié.

Au cours des quatre premières années de l'expérimentation, aucune différence importante n'apparaît entre les différents traitements de fertilisation potassique, que ce soit à Davié (figure 3) ou à Agbomédji. Une rupture brutale apparaît la cinquième année pour le traitement N2P2K0, et les rendements semblent se stabiliser rapidement à un nouveau palier. Le même type de phénomène — chute des rendements après trois à cinq ans de culture maïs-maïs ou maïs-coton, avec restitution des résidus de récolte — a été observé aussi bien au Bénin (WERTS, 1976) que sur la station IRCT de Kouvé, à une trentaine de kilomètres de la station de Davié. A Kouvé, un suivi annuel des caractéristiques chimiques du sol a montré que l'évolution des teneurs en potassium échangeable du sol était parallèle à celle des rendements (JALLAS, 1989, comm. pers.). La diminution brutale des rendements constatée à Davié et à Agbomédji pourrait donc être imputée principalement à des facteurs chimiques, l'exportation des pailles de maïs accélérant le phénomène, surtout en ce qui concerne le potassium. La diminution brutale des rendements après quatre années de culture souligne à la fois la difficulté d'extrapoler à partir de résultats d'essais de courte durée et l'intérêt des essais de longue durée dans la mise en évidence des carences induites.

Tableau V. Rendements en maïs de première saison en début et en fin d'expérimentation, en kilos par hectare.

Facteurs (effets principaux)		Davié			Agbomédji		
		1976	1989		1976	1989	
			A	B		A (1)	B (1)
N	N0	2 720	1 380	1 630	1 510	190 (5,07)	290 (5,56)
	N1	2 850	1 730	1 880	1 700	620 (6,34)	770 (6,60)
	N2	2 720	1 790	1 850	1 910	680 (6,34)	770 (6,51)
	test	n.s.	**	**	linéaire	**	**
P	P0	2 570	1 160	1 230	1 610	340 (5,46)	450 (5,93)
	P1	2 790	1 830	2 070	1 730	590 (6,12)	680 (6,31)
	P2	2 920	1 910	2 050	1 780	550 (6,16)	700 (6,63)
	test	linéaire	**	**	n.s.	**	**
K	K0	2 650	1 150	1 070	1 650	300 (5,49)	390 (5,82)
	K1	2 850	1 900	2 190	1 740	580 (6,12)	690 (6,37)
	K2	2 790	1 850	2 090	1 740	610 (6,14)	750 (6,48)
	test	n.s.	**	**	n.s.	**	**
Moyenne		2 760	1 630	1 780	1 710	500 (5,92)	610 (6,22)
CV (%)		11,9	15,1	10,5	18,0		
Ecart-type résiduel		328	246	187	307	(0,195)	(0,217)
Ecart-type d'une moyenne		77	58	44	72	(0,046)	(0,051)
Interactions							
N x P		n.s.	*	*	n.s.	**	n.s.
N x K		n.s.	**	**	n.s.	**	*
P x K		n.s.	**	**	n.s.	n.s.	n.s.
N x P x K		n.s.	*	*	n.s.	**	**

n.s. Non significatif au seuil de 5 %.

* Significatif au seuil de 5 %.

** Significatif au seuil de 1 %.

linéaire Effet linéaire significatif et quadratique non significatif au seuil de 5 %.

(1) Variable analysée après transformation log des données en kilos par hectare.

Les valeurs entre parenthèses sont les valeurs transformées.

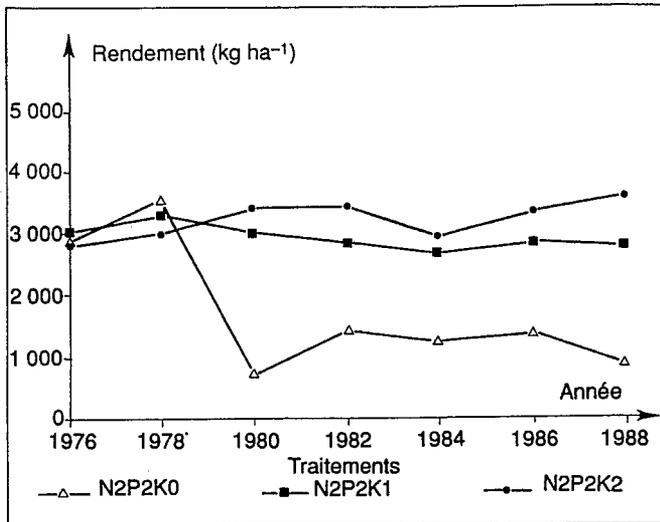


Figure 3. Rendements en maïs à Davié, en grande saison des pluies, de 1976 à 1988.

Pour l'ensemble de l'essai, le rendement du maïs de grande saison a chuté de 40 % à Davié et de 70 % à Agbomédji après quatorze ans de culture (tableau V) : la différence initiale entre les deux sites s'est donc accrue. Toutes les réponses aux engrais sont devenues significatives, à l'exception de l'interaction P x K à Agbomédji. Le précédent légumineuse de petite saison permet d'augmenter les rendements de 10 à 20 %, accroissement qui reste toutefois insuffisant pour maintenir le niveau de production initial.

Sur terres de barre non dégradées (Davié), une fertilisation minérale modérée sur maïs (N60-P30-K30) est suffisante pour maintenir le rendement initial, d'environ 2 800 kg ha⁻¹ (figure 4). Sans engrais, voire même uniquement en l'absence d'engrais potassique, les rendements moyens sur la période étudiée ont été à Davié de 1 500 kg ha⁻¹ (figure 5) ; ils ont diminué au cours du temps jusqu'à 800 à 1 000 kg ha⁻¹ après quatorze ans (figure 4). Avec la plus forte dose testée (N60-P60-K60), les rendements moyens se maintiennent à un niveau légèrement plus élevé (3 200 kg ha⁻¹) que le niveau initial (figure 3) : sur les terres de barre non dégradées, il est donc possible d'au moins maintenir le niveau de production originel, même en culture continue.

Sur les terres de barre dégradées, ce n'est pas réalisable, même avec le niveau de fertilisation le plus élevé (figure 4). Dans ce cas, un niveau de production moyen de 1 700 kg ha⁻¹ est cependant atteint. En l'absence de toute fertilisation, les rendements sont quasi nuls. Il faut noter toutefois que ces résultats ont été obtenus cinq années après la dernière récolte de manioc, et que les rendements sont plus élevés juste après cette culture, si elle a été correctement fertilisée.

L'effet des doses d'engrais et le délai nécessaire pour déclencher un effet significatif de l'engrais sur le rendement sont variables selon les éléments et le site. L'azote marque dès la première année à Agbomédji, mais seulement après la troisième année à Davié. L'effet de la fertilisation azotée est

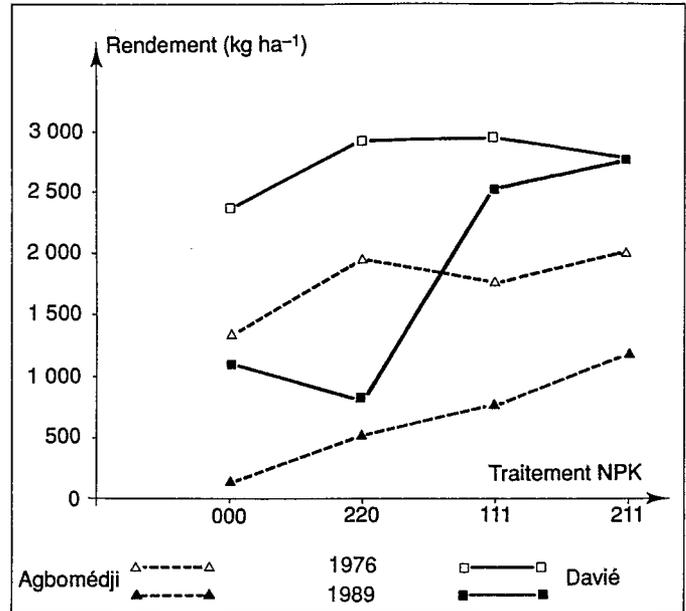


Figure 4. Rendements en maïs à Davié et Agbomédji, en grande saison des pluies, en 1976 et en 1989.

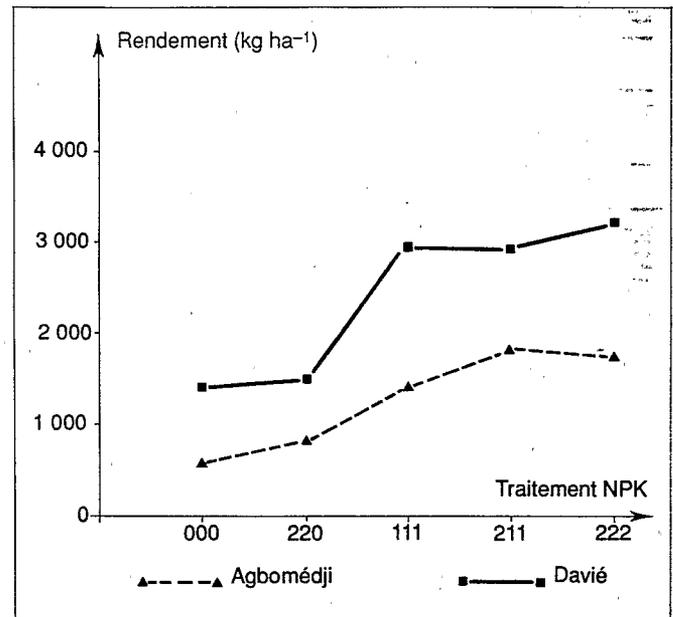


Figure 5. Rendements moyens en maïs en fonction des différents traitements, à Davié et Agbomédji, en grande saison des pluies (moyenne 1976-1989).

très net à Agbomédji, où le niveau initial de fertilité azotée était faible, mais il est beaucoup plus atténué à Davié (figure 6). A Davié, la différence entre les deux doses d'azote testées est peu marquée : la dose 2 (N60) ne s'est avérée significativement supérieure à la dose 1 (N30) que 2 années sur 13, alors qu'elle l'était 8 années sur 12 à Agbomédji. Le phosphore, qui marque dès la première année à Davié, ne le fait qu'à partir de la douzième année à Agbomédji. Pour cet élément, la dose 2 (P60) ne s'est jamais révélée

significativement supérieure à la dose 1 (P30). La fertilisation potassique n'a eu d'effet significatif sur le rendement qu'à partir de la cinquième année, mais cet effet est très net et du même ordre de grandeur pour les deux sites, soit une augmentation de rendement de 60 à 70 %. Les deux doses testées ne donnent pas de résultats significativement différents.

Sur le maïs de première saison (figure 6), le supplément de rendement apporté par chaque élément (effet moyen de l'élément) est donc le suivant :

- pour l'azote, 20 % sur terres de barre non dégradées (N1 ≈ N2), et 70 (N1) à 90 % (N2) sur les terres de barre dégradées ;
- pour le phosphore, 50 % sur terres de barre non dégradées et 10 % sur terres de barre dégradées (P1 ≈ P2) ;
- pour le potassium, 60 % sur terres de barre non dégradées, à 70 % sur terres de barre dégradées (K1 ≈ K2).

En fait, ces résultats moyens masquent l'effet d'un précédent légumineuse de seconde saison sur le rendement du maïs qui suit. Comme c'est le cas général en zone de savane (NICOU, 1978 ; MARQUETTE, 1986b ; PIERI, 1989 ; GANRY, 1990), les légumineuses ont un effet marqué sur les rendements des cultures qui les suivent (tableau VI). En fonction de l'objectif recherché, deux stratégies peuvent être définies. Pour obtenir des rendements en maïs modérés, soit 2 000 à 2 500 kg ha⁻¹ sur sols non dégradés et 800 à 1 000 kg ha⁻¹ sur sols dégradés, le recours à une légumineuse de second cycle permet d'éviter toute fertilisation azotée (NOPIK1 du sous-traitement B ≈ NIPIK1 du sous-traitement A). Si des rendements plus élevés sont recherchés, soit 3 000 kg ha⁻¹ sur sols non dégradés et 1 500 à 2 000 kg ha⁻¹ sur sols dégradés, la légumineuse permet d'économiser 90 unités fertilisantes (NIPIK1-B ≈ N2P2K2-A), en limitant l'apport d'engrais à la formule N30-P30-K30.

Petite saison des pluies. Dans les conditions optimales, les rendements moyens en maïs de seconde saison ne dépassent pas 1 800 kg ha⁻¹ à Davié et 800 kg ha⁻¹ à Agbomédji (figure 7). Les rendements en maïs sur les sols dégradés, déjà faibles en première saison, deviennent dérisoires, ce qui remet en cause le système de production maïs-maïs, ainsi que nous le suggérons antérieurement (POSS et al., 1988). C'est d'autant plus vrai qu'une invasion de *Striga asiatica* ou une phase de sécheresse au semis ou à la floraison peuvent

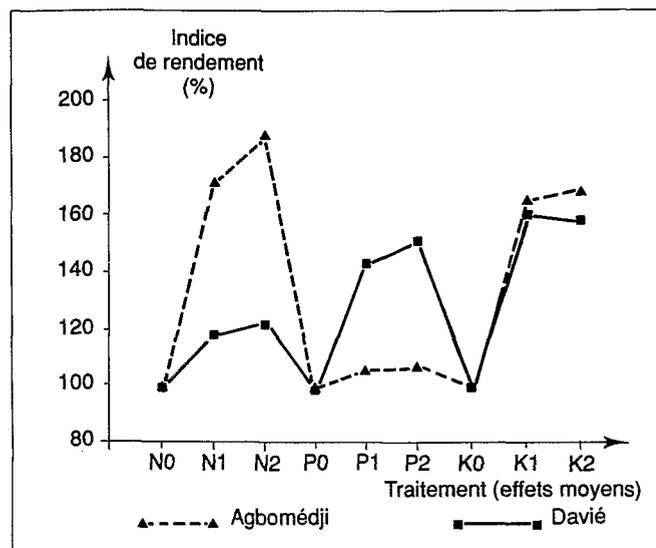


Figure 6. Indices de rendement en maïs de grande saison des pluies en fonction des traitements, à Davié et Agbomédji (moyenne 1976-1989).

provoquer sur ces sols un anéantissement complet de la production, comme en 1976, 1977 et 1979.

Sur terres de barre non dégradées, en revanche, les rendements les plus élevés sont compris une année sur deux entre 2 000 et 3 000 kg ha⁻¹. Ce fut d'ailleurs le cas en 1989, après quatorze années de culture continue. Sur ces sols, il est donc possible de cultiver du maïs en seconde saison, mais avec des rendements beaucoup plus faibles que ceux de la première saison. Il est cependant préférable de produire des légumineuses pour valoriser au mieux les faibles ressources en eau de cette saison.

L'effet résiduel de l'engrais phosphaté et de l'engrais potassique de la première saison de culture sur les rendements de la seconde peut être évalué à partir des résultats des années 1976 à 1980, l'essai ayant été conçu à l'origine dans ce but (tableau VII).

Le phosphore n'a aucun effet résiduel à Agbomédji. Ce résultat est en accord avec l'absence d'effet direct avant la douzième année. A Davié, en revanche, son effet résiduel provoque une augmentation de rendement de près de 40 % par rapport au témoin sans engrais.

Tableau VI. Effet d'une légumineuse cultivée en seconde saison sur le rendement du maïs qui la suit (moyenne 1982-1989).

Traitement	Davié			Agbomédji		
	Rendement du maïs (kg ha ⁻¹)		B/A (%)	Rendement du maïs (kg ha ⁻¹)		B/A (%)
A	B	A		B		
N0P0K0	1 100	1 220	111	200	340	170
N0P1K1	1 880	2 350	125	380	880	232
N1P1K1	2 440	3 020	124	990	1 500	152
N2P2K2	3 030	3 200	106	1 560	1 770	113

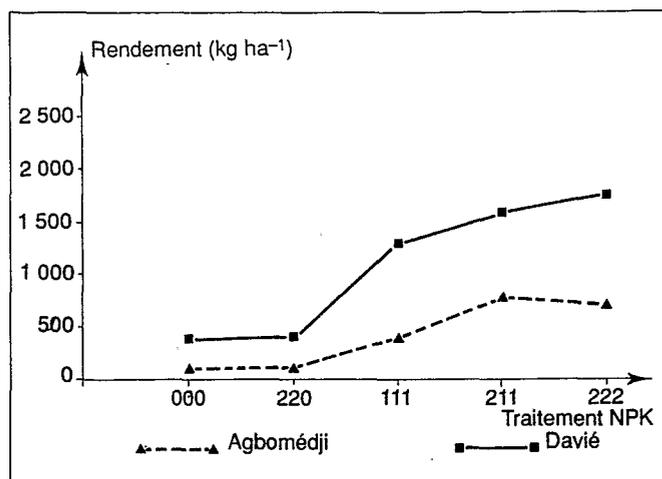


Figure 7. Rendements moyens en maïs en fonction des différents traitements NPK, à Davié et Agbomédji, en petite saison des pluies (moyenne 1976-1989).

L'effet résiduel du potassium permet de doubler (K1), voire de tripler (K2) les rendements. Il faut noter cependant que ceux-ci restent toujours très faibles (500 kg ha⁻¹) en seconde saison sur les terres de barre dégradées, quelle que soit la fertilisation.

L'effet résiduel des engrais phosphatés et potassiques s'explique par le maintien de la plus grande partie du potassium apporté sous une forme échangeable (Poss *et al.*, 1991) et par une fixation du phosphore sur le sol moindre que dans la plupart des sols ferrallitiques (Poss, 1991).

Lorsqu'une fertilisation complète, aux mêmes doses qu'en première saison, a été apportée sur le maïs de seconde saison à partir de 1981, l'apport de potassium, à Davié comme à Agbomédji, a triplé les rendements par rapport au témoin sans fertilisation (tableau VII), et l'apport de phosphore, sans effet à Agbomédji, les a largement doublés à Davié. Il est probable que cette augmentation provient en partie de l'effet immédiat de la fumure et en partie de l'effet résiduel, mais la part de chaque phénomène ne peut être précisée. En effet,

l'apport d'engrais modifie non seulement l'équilibre entre le complexe d'échange et la solution du sol, mais également le comportement des plantes.

Interactions. Sous climat tempéré et en culture intensive avec une forte fertilisation, la réponse du maïs aux engrais est fortement dépendante des interactions entre les éléments minéraux, et surtout de l'interaction N x K (LOUE, 1980a). En Afrique, des interactions ont été observées lorsque des techniques améliorées sont utilisées (WERTS et BOUYER, 1967 ; HEATHCOTE, 1972). Elles sont nettement marquées dans le cas étudié : l'interaction N x K (différence entre les réponses au potassium pour le plus faible et le plus fort niveau d'azote) est significative dans 70 à 85 % des cas, selon le lieu et la saison. En moyenne, l'interaction N x K obtenue (tableau VIII) est considérable par rapport aux rendements observés : + 700 kg ha⁻¹ (Davié) et + 800 kg ha⁻¹ (Agbomédji) en première saison, + 500 kg ha⁻¹ et + 400 kg ha⁻¹ en seconde saison. Pour la grande saison des pluies, cette augmentation est en effet comparable à celle atteinte sous climat tempéré, où les rendements moyens (6 000 kg ha⁻¹) sont pourtant six fois plus élevés qu'au Togo. L'effet, prouvé par LOUE (1980b), d'un accroissement de l'absorption de potassium sur l'augmentation de l'absorption d'azote pour effectuer la synthèse des composés organiques (STEINECK, 1974), n'a pu être démontré.

Etant donné l'absence de réponse au phosphore à Agbomédji jusqu'en onzième année, il est logique que les interactions moyennes N x P et P x K n'y soient pas significatives. Ces interactions sont en revanche nettes à Davié (tableau IX) : + 600 kg ha⁻¹ pour N x P et + 800 kg pour P x K, quelle que soit la saison de culture. Ces interactions révèlent une carence absolue en potassium sur les parcelles K0 : la fertilisation N ou P ne marque pas tant que la carence potassique n'est pas levée. Cette carence absolue est en accord avec les teneurs en potassium échangeable, de 0,08 mé 100 g⁻¹ à Davié et de 0,06 mé 100 g⁻¹ à Agbomédji (tableau I). La carence en phosphore est également absolue à Davié, où la teneur en phosphore Olsen Dabin est de 8 ppm. Les carences en azote sont sévères, mais elles ne sont pas

Tableau VII. Effet des traitements phosphatés et potassiques sur le rendement en maïs de seconde saison (arrière-effet et effet direct).

Traitement	Davié				Agbomédji			
	Effet résiduel (1976-1980)		Effet résiduel + effet direct (1981-1989)		Effet résiduel (1976-1980)		Effet résiduel + effet direct (1981-1989)	
	kg ha⁻¹	indice (%)	kg ha⁻¹	indice (%)	kg ha⁻¹	indice (%)	kg ha⁻¹	indice (%)
P0	530	100	440	100	230	100	370	100
P1	740	140	1 010	230	250	109	390	105
P2	710	134	1 100	250	220	96	360	97
K0	320	100	370	100	130	100	160	100
K1	730	228	1 080	292	240	185	450	281
K2	930	291	1 090	295	340	262	510	319

absolues : des apports de potassium ou de phosphore (à Davié) produisent des augmentations de rendement, même sans apport d'azote.

Sorgho

Au cours des deux seules saisons où il a été cultivé, le sorgho a montré un comportement comparable à celui du maïs, tant pour le rendement que pour la réponse aux engrais. En première saison 1979 (variété Ghana 1 de 95 jours, pluviométrie de 560 mm), les rendements moyens furent de 3 100 kg ha⁻¹ à Davié et de 1 700 kg ha⁻¹ à Agbomédji (rendements maximaux de 4 500 et 2 300 kg ha⁻¹). En seconde saison 1982, sous une pluviométrie de seulement 120 mm à Davié et 70 mm à Agbomédji, les rendements maximaux de la variété IRAT 55, pourtant précoce (cycle de 85 jours), furent de 1 400 kg ha⁻¹ à Davié et de 600 kg ha⁻¹ à Agbomédji.

Manioc

Le manioc est traditionnellement cultivé au sud du Togo comme réserve alimentaire sur pied, en particulier sur les sols dégradés. Mais, pratiquée sans engrais, cette culture contribue probablement à les épuiser chimiquement un peu plus, surtout en potassium.

Sur terres de barre dégradées, le manioc (variété 312-524) profite, comme le maïs, d'un précédent légumineuse (tableau X). Le manioc ne répond pas ici à la fertilisation phosphatée, mais il est très sensible à l'apport de potassium : 24 t ha⁻¹ pour K45 contre 13 t ha⁻¹ pour K0. Le rendement maximal (29 t ha⁻¹) est atteint après légumineuse et avec une fertilisation de N30-P45-K90. Dans le cas des sols non

dégradés, ce rendement peut être obtenu avec N30-P30-K30 (MARQUETTE et POUZET, 1988).

Par ailleurs, sur les sols dégradés, le manioc a un effet remarquable sur le rendement du maïs qui le suit (figure 8). Correctement fertilisé et avec une pluviométrie favorable, le maïs produit un rendement de 2 500 kg ha⁻¹ lorsqu'il est semé dans le mois qui suit la récolte du manioc, 1 500 kg ha⁻¹ deux ans plus tard et 1 000 kg ha⁻¹ après quatre ans. Cet arrière-effet reste mal expliqué. Il est certain que dans le cadre pédoclimatique du sud du Togo, où le travail du sol est une nécessité (CHOPART *et al.*, 1981 ; MARQUETTE, 1986a), mais

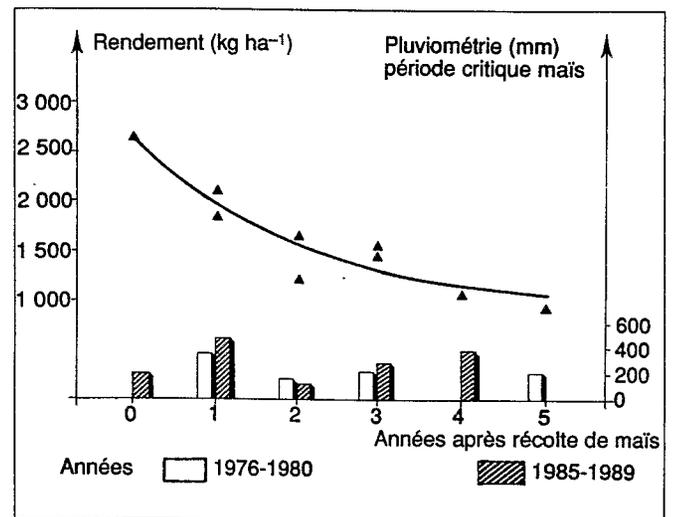


Figure 8. Influence du précédent manioc sur le rendement en maïs de première saison (traitement N2P2K2), à Agbomédji, sur sols dégradés, en 1976-1980 et en 1985-1990.

Tableau VIII. Effet de l'interaction N x K sur le rendement en maïs, en kilos par hectare (moyenne 1976-1989).

Dose	Grande saison des pluies				Petite saison des pluies			
	Davié		Agbomédji		Davié		Agbomédji	
	K0	K60	K0	K60	K0	K40	K0	K40
N0	1 460	1 880	610	880	320	750	90	210
N60	1 380	2 610	820	1 660	320	1 300	120	580

Tableau IX. Effet des interactions N x P et P x K sur le rendement en maïs à Davié, en kilos par hectare (moyenne 1976-1989).

Dose	Grande saison		Petite saison		Dose	Grande saison		Petite saison	
	P0	P60	P0	P40		K0	K60	K0	K40
N0	1 480	1 990	440	700	P0	1 350	1 750	320	550
N60	1 560	2 590	470	1 260	P40* ou P60*	1 520	2 710	360	1 350

* P40 en petite saison, P60 en grande saison.

où le labour n'est que partiel (une saison sur deux) et peu profond (manuel), la culture du manioc ameublisse le sol lors de son arrachage. Cela ne peut qu'améliorer la croissance racinaire et l'alimentation hydrique et minérale du maïs. Mais l'ameublissement ne paraît pas pouvoir expliquer seul une augmentation de rendement d'environ 250 %. D'autres facteurs, comme des remontées d'éléments minéraux à partir des horizons profonds, semblent devoir être également invoqués.

Tableau X. Rendements en manioc à Agbomédji, en tonnes par hectare (avril 1984-avril 1985).

Facteurs (effets principaux)		A	B
N	N0	18,84	21,48
	N1	22,18	22,45
	N2	19,22	19,79
	test	**	*
P	P0	19,93	20,82
	P1	20,88	22,14
	P2	19,44	20,75
	test	n.s.	n.s.
K	K0	13,76	11,75
	K1	22,79	24,96
	K2	23,69	27,01
	test	quadratique	**
Moyenne		20,08	21,24
CV (%)		11,8	11,1
Ecart-type résiduel		2,376	2,367
Ecart-type d'une moyenne		0,560	0,558
Interactions	N x P	*	*
	N x K	n.s.	*
	P x K	n.s.	n.s.
	N x P x K	n.s.	n.s.

n.s. Non significatif au seuil de 5 %.
 * Significatif au seuil de 5 %.
 ** Significatif au seuil de 1 %.
 quadratique Effet quadratique significatif au seuil de 5 %.

Arachide et niébé

La réponse aux engrais des deux légumineuses présente des convergences : sur les deux sites, elles ne répondent pas à l'azote et sont en revanche très sensibles à la fertilisation potassique. Mais seul le niébé répond à la fertilisation phosphatée, et uniquement à Davié. Le rendement maximal (figures 1 et 2) est comparable à Davié et Agbomédji pour l'arachide (1 000 à 1 200 kg ha⁻¹), du fait qu'à Davié la teneur en argile, plus élevée, s'accompagne d'une prise en masse de la surface des sols, ce qui provoque une perte plus importante de gousses à la récolte. Le rendement maximal est en revanche beaucoup plus faible à Agbomédji pour le niébé

(700 kg ha⁻¹ contre 1 300 kg ha⁻¹ à Davié), en raison, entre autres, d'une moins bonne pénétration racinaire (40 cm contre 60 cm à Davié). Il faut également noter une interaction P x K significative, comparable pour les deux légumineuses (+ 250 kg ha⁻¹) sur terres de barre non dégradées.

Ainsi, la culture de seconde saison la mieux adaptée aux terres de barre dégradées serait l'arachide. Son arrachage, en outre, s'apparente à un pseudo-labour, un peu comme pour le manioc. En raison d'une texture plus sableuse, la récolte de l'arachide est par ailleurs plus facile en sols dégradés qu'en sols non dégradés (gain de 40 % en temps de main-d'œuvre), et la culture sur billons devrait la rendre plus aisée. Il faut également noter que, sur les sols non dégradés, le rendement peut atteindre 2 000 kg ha⁻¹, comme en 1976 après deux ans de jachère, avec seulement 180 mm de pluie.

Les caractéristiques chimiques des sols et leur évolution

Une fertilisation potassique, même modérée (30 kg de K₂O ha⁻¹), sur chacune des cultures de l'assolement et la restitution des résidus de récolte permettent d'accroître la teneur en potassium échangeable du sol (qu'il soit dégradé ou non) par rapport à la pratique d'une jachère de courte durée initiale. Elle permet également d'obtenir des teneurs équivalentes ou supérieures à celles obtenues par des jachères de longue durée (tableau I). En revanche, l'absence de potassium dans la fertilisation minérale fait chuter d'environ 30 % la teneur en potassium échangeable du sol par rapport à son niveau initial, malgré la restitution des pailles de maïs. L'effet de la fertilisation potassique sur les teneurs en potassium échangeable du sol est surtout marqué en surface, mais est sensible jusqu'à 30 cm à Davié, et jusqu'à 50 cm à Agbomédji (figures 9 et 10). Les rendements en maïs de première saison étant liés aux teneurs en potassium échangeable (figure 11), le maintien de teneurs en potassium échangeable au moins égales à 0,15 mé 100 g⁻¹ dans l'horizon 0-20 cm est une condition de la conservation du potentiel de production du sol.

Pour le phosphore également, un apport de 30 kg de P₂O₅ ha⁻¹ est suffisant pour stabiliser les teneurs en phosphore total et pour augmenter les teneurs en phosphore Olsen Dabin.

Les teneurs en matière organique diminuent rapidement au cours des premières années qui suivent la mise en culture de la jachère. A partir des résultats obtenus sur une rotation coton-maïs conduite dans des conditions culturales comparables (JALLAS, 1989, comm. pers.), il semble que les teneurs en matière organique se maintiennent ensuite, au moins pendant une dizaine d'années, à une teneur dépendant peu du système cultural. Ces résultats ne peuvent cependant pas être extrapolés à long terme, et il est nécessaire de suivre l'évolution du taux de matière organique du sol.

Du calcium et du magnésium du sol sont entraînés par lixiviation en dessous de la zone d'extraction racinaire

(SARAGONI *et al.*, 1991). La diminution des teneurs qui en résulte n'est pas quantifiable à l'aide des analyses chimiques, principalement en raison d'erreurs analytiques et de la libération de calcium et de magnésium échangeables lors de la minéralisation de la matière organique (LOCASCIO, 1990). Au Bénin, avec une pluviométrie un peu plus forte (1 200 à 1 400 mm) qui accentue la lixiviation, la mise en exploitation de ces sols et le transfert du calcium et du magnésium vers les horizons profonds provoquent une diminution sévère du pH (RAUNET, 1973 ; DJEGUI, 1982). Au Togo, DABIN (1956) a souligné que les baisses de rendement pouvaient être provoquées par une baisse du pH, et il mentionne des valeurs de 5,0 sur sols dégradés. Dans l'expérimentation étudiée, le pH a très peu évolué au cours du temps : il est presque identique sur les deux sites (5,5 à 5,8), quels que soient les traitements, et l'absence d'aluminium échangeable sur le complexe absorbant prouve qu'il n'y a pas d'acidification prononcée. La restitution des résidus de culture et l'apport de calcium par l'engrais phosphaté peuvent constituer des éléments d'interprétation de cette observation.

Au total, dans le cadre expérimental étudié — exploitation conduite de manière rationnelle, avec fertilisation minérale équilibrée et restitution des résidus de récolte — et avec une rotation appropriée, il apparaît que la mise en culture continue des terres de barre du Togo peut s'effectuer en maintenant ou en augmentant les teneurs en potassium et en phosphore du sol et en stabilisant les teneurs en matière organique, au moins à moyen terme. En revanche, les pertes par lixiviation de calcium et de magnésium ne sont pas compensées par les apports. Il est donc nécessaire de suivre l'évolution du pH des sols pour pouvoir en prévenir l'acidification.

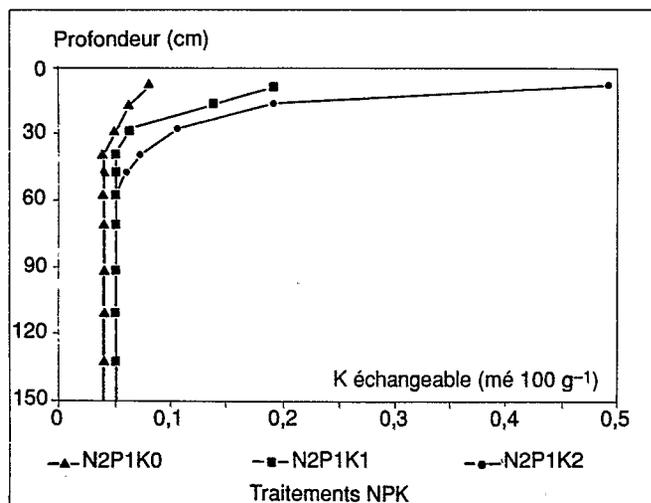


Figure 9. Teneurs en potassium échangeable dans le sol de Davié, après douze ans de culture continue, pour trois traitements.

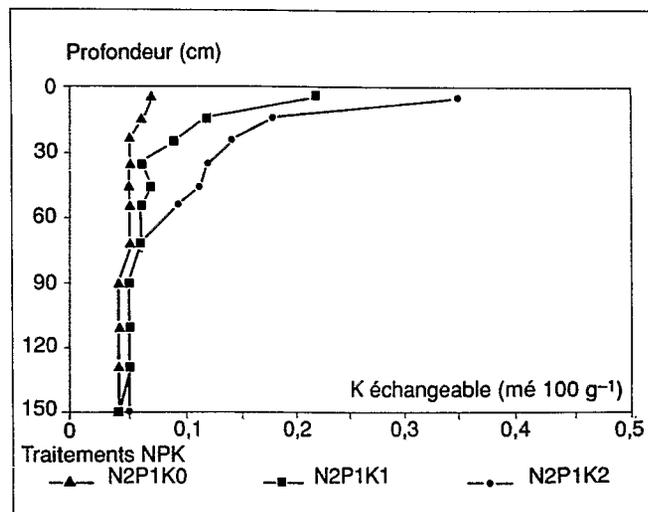


Figure 10. Teneurs en potassium échangeable dans le sol d'Agbomédji, après douze ans de culture continue, pour trois traitements.

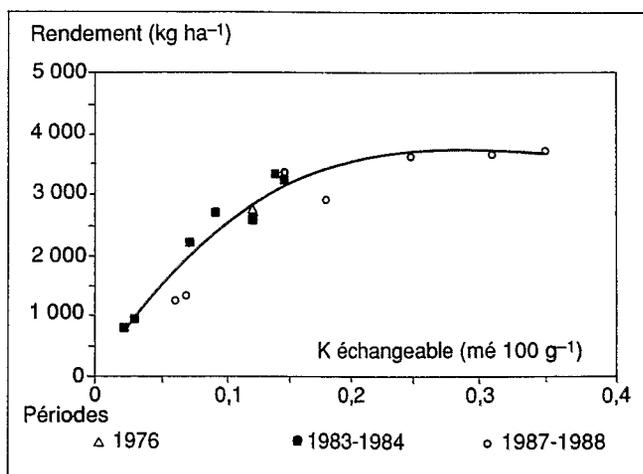


Figure 11. Relation entre les rendements en maïs et les teneurs en potassium échangeable dans le sol de Davié (horizon 0-20 cm) en grande saison des pluies, en 1976, en 1983-1984 et en 1987-1988.

Conclusions

En Afrique, la poussée démographique des trente dernières années a contraint les paysans à une agriculture stabilisée, alors qu'ils gardent encore des habitudes de culture itinérante. Il en a résulté une forte diminution de la fertilité des sols. Au sud du Togo, l'épuisement des terres de barre, caractérisé par une diminution du potentiel de production, est plus accentué dans la zone la moins humide et la plus peuplée, car on y pratique une double culture annuelle sans jachère, sans véritable labour et presque sans aucune restitution organo-minérale. Tous ces facteurs ont entraîné une importante dégradation des sols par déstructuration et désaturation des horizons de surface.

La préservation et la restauration de la fertilité de ces sols semble possible. Des techniques simples et peu coûteuses permettent de tripler les rendements de façon durable, sous réserve d'appliquer les pratiques culturales préconisées par la recherche et de respecter des dates de semis adaptées aux variétés utilisées. Sur une succession culturale variable selon l'état de fertilité du sol, la fertilisation minérale doit jouer un rôle majeur en augmentant la quantité de matière végétale produite et en rétablissant des propriétés chimiques équilibrées dans ces sols.

C'est ainsi que des assolements quinquennaux qui feraient intervenir le manioc une année sur cinq sur sols non dégradés et deux années sur cinq sur sols dégradés pourraient être préconisés. Le maïs ne serait cultivé qu'en première saison des pluies, la seconde étant consacrée à la culture d'une légumineuse alimentaire (arachide ou niébé). Des doses moyennes d'apport d'engrais pourraient alors être recommandées, d'autant plus qu'une fertilisation moyenne équilibrée constitue la meilleure valorisation des ressources hydriques en limitant les pertes par drainage et les risques de ruissellement (SARAGONI *et al.*, 1991). Il serait ainsi possible d'augmenter les productions vivrières du sud du Togo plus rapidement que ne progresse le taux d'accroissement démographique. Ces propositions devraient permettre d'atteindre une réelle sécurité alimentaire pour la région et pour la ville de Lomé. Cependant, il ne faudrait alors pas se limiter aux seuls résultats techniques. Il devrait s'agir de choix, qui reviennent aux responsables des unités de production. Cela nécessiterait également que le statut foncier et l'environnement économique (prix des engrais, crédit, systèmes de distribution...) soient plus incitatifs pour les agriculteurs (PIERI, 1988).

Les bases pour faire place à de nouvelles initiatives en matière de vulgarisation des intrants et des modèles de successions culturales sont désormais rassemblées. A partir de la connaissance de la variabilité des systèmes en place, il conviendrait de rechercher les conditions d'applicabilité de certaines recommandations, et pour cela de mettre en place de nouvelles expérimentations en plein champ à l'aide de contrats passés avec les agriculteurs. Cela permettrait la validation, technique et économique, des résultats des modèles expérimentaux. En attendant que cette nouvelle recherche soit menée, les résultats obtenus en station d'essais ne devront être introduits qu'avec précaution en milieu paysan.

Reçu le 24 septembre 1990.

Accepté le 3 décembre 1991.

Remerciements. Les auteurs remercient M. ISSIFOU, ancien responsable des stations IRAT de Davié et d'Agbomédji, et M^{me} NOAMESHI, responsable des essais à Davié de 1980 à 1983, pour l'aide apportée dans la réalisation de cette étude.

Références bibliographiques

- ANDRE M., 1990. Approvisionnement, commercialisation et demande des engrais en république du Togo. Lomé, IFDC-LEI. 165 p.
- CHOPART J.-L., KALMS J.-M., MARQUETTE J., NICOU R., 1981. Comparaison de différentes techniques de travail du sol en trois écologies de l'Afrique de l'Ouest. Montpellier, CIRAD-IRAT. 65 p.
- DABIN B., 1956. Contribution à l'étude de la fertilité des terres de barre. *L'Agron. Trop.*, 11 (4) : 490-506.
- DJEGUI N., 1982. Essai de caractérisation de l'état de dégradation des terres de barre. Montpellier, CIRAD-IRAT, 35 p.
- DOMÉ D., 1985. Carte pédologique de la région de Tsévié (Togo) au 1/50 000. Contribution à l'étude pédoagronomique des terres de barre du Togo. Lomé, ORSTOM, 138 p.
- FAUCK R., 1972. Les sols rouges sur sables et sur grès d'Afrique occidentale. Contribution à l'étude des sols des régions tropicales. Paris, ORSTOM. 256 p. (Mémoires ORSTOM n° 61).
- FRETEAUD J.-P., POSS R., SARAGONI H., 1987. Ajustement d'un modèle de bilan hydrique à des mesures tensio-neutroniques *in situ* sous culture de maïs au Togo. *L'Agron. Trop.*, 42 (2) : 94-102.
- GANRY F., 1990. Application de la méthode isotopique à l'étude de bilans azotés en zone tropicale sèche. Thèse de doctorat d'Etat. sciences naturelles, université de Nancy-I, 356 p.
- HEATHCOTE R.G., 1972. Potassium fertilization in the Savanna zone of Nigeria. *Rev. Potasse*, section 16, 57^e suite, p. 1-8.
- LOCASCIO B., 1990. Etude des relations entre la matière organique et les réserves en bases dans un sol ferrallitique (terres de barre) du sud du Togo. Effets de la mise en culture et de la fertilisation. Mémoire, maîtrise de l'environnement, université de Rouen, 44 p.
- LOUE A., 1980a. Le potassium et le maïs. Dossier K₂O, n° 16. Mulhouse, SCPA, 48 p.
- LOUE A., 1980b. Analyse du sol et de la plante pour le contrôle de l'expérimentation. *In* : Dixième colloque de l'Institut international de la potasse. Abidjan, décembre 1973, p. 375-398.
- LOUETTE D., 1988. Synthèse des travaux de recherche sur la fertilité des terres de barre au Bénin et au Togo. Montpellier. CIRAD-DSA, 34 p.
- MARQUETTE J., 1986a. Maintien et amélioration des rendements du maïs sur les terres de barre dans le sud du Togo. *L'Agron. Trop.*, 41 (2) : 132-148.
- MARQUETTE J., 1986b. Evaluation de l'effet de l'arachide comme précédent cultural au Togo. *L'Agron. Trop.*, 41 (3-4) : 231-241.
- MARQUETTE J., POUZET D., 1988. Le manioc dans la rotation culturale sur terre de barre au Togo. *In* : Proceedings of VIIIth symposium of the International society for tropical root crops. Guadeloupe, juillet 1985, Paris, INRA, p. 484-494.
- NICOU R., 1978. Etude de successions culturales au Sénégal. Résultats et méthodes. *L'Agron. Trop.*, 33 (1) : 51-61.

PIERI C., 1988. Industrie des engrais phosphatés et développement de la fertilisation en Afrique. *L'Agron. Trop.*, 43 (4) : 261-277.

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 du Développement, CIRAD-IRAT, 444 p.

PIERI C., MOREAU R., 1986. Fertilité des sols et fertilisation des cultures tropicales. L'expérience du CIRAD et de l'ORSTOM. *In* : Actes du séminaire sur la recherche agronomique française en zone intertropicale. Washington, mai 1986, Banque mondiale, p. 67-92.

POSS R., 1991. Transferts de l'eau et des éléments minéraux dans les terres de barre du Togo. Conséquences agronomiques. Thèse, pédologie, université de Paris-VI, 336 p.

POSS R., SARAGONI H., 1987. Quelques problèmes posés par l'estimation du bilan hydrique en plein champ. Milieux poreux et transferts hydriques. *Bull. GFHN*, 22 : 32-46.

POSS R., SARAGONI H., IMBERNON J., 1988. Bilan hydrique simulé du maïs au Togo méridional. *L'Agron. Trop.*, 43 (1) : 18-29.

POSS R., PLEUVRET C., SARAGONI H., 1989-1990. Influence des réorganisations superficielles sur l'infiltration dans les terres de barre (Togo méridional). *Cah. ORSTOM Paris, Sér. Pédol.*, 25 (4) : 405-415.

POSS R., FARDEAU J.-C., SARAGONI H., QUANTIN P., 1991. Potassium release and fixation in Ferralsols (Oxisols) from Southern Togo. *J. Soil Sci.*, 42 (4) : 649-660.

Summary

H. SARAGONI, R. POSS, J. MARQUETTE, E. LATRILLE – **Fertilization and food crop sequences in South Togo: review of a long duration experimentation on the « terres de barre ».**

In South Togo (about 1,000 mm rainfall over two seasons) the demographic pressure causes the long duration fallow to disappear without being replaced by new fertility restoring technics, thereby resulting in degraded soils, principally associated with a decrease in chemical fertility and destructuration of surface horizons. The evolution of yield and soil fertility has been observed on two long duration NPK factorial trials involving different maize, cassava, cowpea and groundnut-based cropping sequences. Realistic technics to check the process of soil exhaustion and even to regenerate the most degraded soils are proposed. They are based principally on a moderate fertilizer use in which potassium application plays an essential role and on two different cropping patterns according to the exhausted soil status. The more degraded the soil is the more often cassava occurs in the rotation. Maize is cultivated only in the first crop season with cowpea and groundnut replacing it for the second season.

Key words: inorganic fertilization, nitrogen, phosphorus, potassium, crop rotation, maize, cassava, cowpea, groundnut, soil degradation, terres de barre, Togo.

RAUNET M., 1973. Contribution à l'étude pédologique des terres de barre du Dahomey et du Togo. *L'Agron. Trop.*, 28 (11) : 1049-1069.

SARAGONI H., POSS R., OLIVER R., 1991. Dynamique et lixiviation des éléments minéraux dans les terres de barre du sud du Togo. *L'Agron. Trop.*, 45 (4) : 259-273.

SCHWARTZ A., 1989. Révolution verte et autosuffisance alimentaire au Togo. *Politique africaine*, 36 : 97-107.

SEGUI S., 1988. La pluviométrie au Togo : caractérisation agronomique. Lomé, ORSTOM, 23 p.

STEINECK O., 1974. The relation between potassium and nitrogen in the production of plant material. *In* : Proceedings of the tenth IPI congress. Budapest, juin 1974, p. 189-196. Bern, IPI eds.

VIEILLEFON J., MILLETTE G., 1965. Etudes pédohydrologiques au Togo, vol. II. Les sols de la région maritime et des savanes. Rome, ONU-FAO, Paris, ORSTOM, 189 p.

WERTS R., 1976. Propositions pour le développement de la production vivrière dans les différentes situations agricoles du Bénin. Cotonou, IRAT, 105 p.

WERTS R., 1979. Dossier pour une synthèse des résultats de la recherche agronomique au Bénin en maïsiculture. Montpellier, IRAT, 241 p.

WERTS R., BOUYER S., 1967. Etudes récentes sur la fertilisation des sols réalisées par l'IRAT au Dahomey. *In* : Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive, Madagascar, 19-25 novembre 1967. Nogent, IRAT, p. 601-612.

Resumen

H. SARAGONI, R. POSS, J. MARQUETTE, E. LATRILLE – **Fertilización y sucesión de cultivos alimenticios en el sur de Togo : síntesis de una experimentación de larga duración en tierras de « barre ».**

En el sur de Togo (alrededor de 1 000 mm de pluviometría en dos temporadas), la presión demográfica provoca la desaparición del barbecho de larga duración sin que nuevas técnicas regeneradoras de la fertilidad lo sustituyan. A consecuencia de ello, los suelos se deterioran, esencialmente por una disminución de la fertilidad química y una desestructuración de los horizontes superficiales. Se han realizado dos ensayos factoriales NPK de larga duración con distintas sucesiones de cultivos a base de maíz, yuca, caupí y maní, a fin de observar la evolución de los rendimientos y de la fertilidad de los suelos. A partir de esas observaciones, se proponen técnicas realistas, capaces de atajar el proceso de agotamiento de los suelos e incluso de regenerar los suelos más deteriorados. Esas técnicas se basan principalmente en la aplicación de una fertilización mineral moderada, en la que el potasio desempeña un papel capital, y en la definición de dos rotaciones, que varían en función del estado de agotamiento de los suelos. La presencia de la yuca en la rotación es tanto más frecuente cuanto mayor es el estado de deterioro de los suelos. El maíz se cultiva solamente durante la primera temporada, sustituyéndolo en la segunda por caupí o maní.

Palabras-clave : fertilización mineral, nitrógeno, fósforo, potasio, rotación de cultivos, maíz, yuca, caupí, maní, deterioro de los suelos, tierras de « barre », Togo.