

Essais de fertilisation de la culture du manioc par les sédiments marins glauconieux du Congo

Pierre GIRESSÉ (1), Rémi JAMET (2)

(1) *Professeur de géologie, Centre de recherches de sédimentologie marine, Université de Perpignan*

(2) *Pédologue de l'O.R.S.T.O.M. Actuellement : Centre O.R.S.T.O.M. de Papeete, Tahiti*

RÉSUMÉ

Au Congo coexistent, d'une part, sur le plateau continental, près des côtes et par des fonds avoisinant les 100 mètres d'importants gisements de glauconie vaseuse et de vase carbonatée glauconieuse, et d'autre part, sur toute la façade maritime, de vastes étendues de sols sableux, d'une extrême pauvreté.

L'utilisation de ces dépôts marins est considérée avec intérêt, aussi le but de nos essais est-il de voir dans quelles mesures ils sont, utilisés en tant qu'amendements, susceptibles d'accroître la fertilité des sols, les rendements des récoltes. Les essais sont menés en caissons selon un protocole d'expérimentation défini au préalable. Les deux types d'amendements sont testés à deux dosages différents, la plante choisie étant un manioc sélectionné.

Du bilan effectué à l'issue d'un cycle végétatif de 18 mois, ressort l'action particulièrement bénéfique sur les rendements, des sédiments glauconieux qui, d'autre part, malgré une lixiviation importante, maintiennent le sol à un niveau de fertilité convenable.

MOTS-CLÉS : Amendements — Glauconie — Manioc — Congo.

ABSTRACT

FERTILIZER TRIALS MADE ON THE CULTIVATION OF CASSAVA USING GLAUCONITIC SEDIMENTS IN CONGO

In the Republic of Congo, there are, on the one hand, big deposits of muddy glauconite and glauconitic carbonate mud on the continental shelf near the shoreline and at depths of about 100 metres and, on the other hand, vast stretches of very poor sandy soils on the whole maritime front.

It is interesting to observe how these marine deposits are used. Therefore, our trials aim at determining to what extent they are likely to increase soil fertility and crop yields when used soil improvements. Trials are made in boxes following a predetermined experimental method. The two types of improvements are subjected to two different dosages and the selected plant is cassava.

The estimations made following a plant cycle of 18 months show that glauconitic sediments produce good yields and, on the other hand, preserve an adequate soil fertility despite a considerable leaching.

KEY WORDS : Amendments — Glauconite — Cassava — Congo.

INTRODUCTION

Le plateau continental du Congo et en particulier sa bordure externe présente une couverture de sédiments meubles très riches en grains de glauconie : les teneurs pondérales augmentent de la côte jusqu'à environ 100 m où elles s'élèvent souvent à 30 et 40 %, puis elles passent par un minimum vers 105 m et

atteignent les plus fortes concentrations entre 105 et 120 m : 50 à 75 %, avec de nombreux points dépassant 80 %. La puissance du dépôt sur la bordure externe peut souvent approcher 10 m, mais elle demeure irrégulière en fonction de l'érosion différentielle du bed-rock.

La glauconite est un minéral homéotype ferrique de l'illite qui se présente sous la forme de grains vert-

sombre. L'organisation cristalline élémentaire du feuillet est du type TOT, c'est-à-dire qu'une couche octaédrique $(\text{Fe}^{3+}, \text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_4\text{O}_4\text{OH}$ est située entre deux couches tétraédriques $(\text{Al}, \text{Si})_8\text{O}_6$. Dans l'espace entre deux feuillets, se trouvent logés plusieurs cations assez volumineux dont notamment le potassium, le calcium et le sodium. Lors des processus de l'altération, ce sont ces cations qui pourront être le plus aisément mis en solution et c'est leur libération qui retiendra ici notre attention.

Les glauconies du plateau congolais ne sont pas de véritables glauconites, mais renferment un nombre variable et souvent important de feuillets gonflants; dans les dépôts les plus littoraux la structure smectitique est même prédominante. Cette hétérogénéité a pour corollaire la diminution du stock de potassium disponible qui, dans les meilleurs des cas, ne peut dépasser 6 %.

L'utilisation des dépôts marins comme amendements de certains sols est considérée avec intérêt dans la prospective de l'exploitation océanique. Cette potentialité doit être envisagée dans le milieu spécifique africain et notamment congolais où sols pauvres en bases échangeables (en potasse en particulier) et authigénèses marines de glauconie coexistent.

1. PROTOCOLE D'EXPÉRIMENTATION

Les essais de fertilisation par les sédiments sous-marins du Congo et notamment par les grains de glauconie ont été effectués en caissons en bois, sur des plants de manioc initialement non parasités, prélevés dans le Nord de l'agglomération de Brazzaville, dans le secteur de Maya-Maya.

Les caissons utilisés sont des cubes de 40 cm de côté perforés à leur base de trous de faible diamètre permettant l'écoulement normal de l'eau. La terre qui a servi à l'expérimentation provient d'un sol prélevé en bordure de la route du Nord, à 5 km environ du Pont de Diane et dont les caractéristiques sont données ci-après. En fonction de la teneur en matière organique, la coloration du sol est brun-grisâtre sur les 15/25 centimètres supérieurs, puis gris-jaunâtre jusqu'à 40/50 cm et enfin jaune-ocre en-dessous. Les prélèvements ont concerné uniquement les 40 cm superficiels : 2 prélèvements de 0 à 20 et 20 à 40 cm avec lesquels l'on a, compte tenu des transitions graduelles et irrégulières, essayé de reconstituer au mieux la coupe d'origine en plaçant 15 cm de sol gris-jaunâtre au fond des caissons, puis 10 cm de mélange des horizons gris-jaunâtre et brun-grisâtre et enfin 15 cm de l'horizon de surface. Un poids de 25 kg de terre a ainsi été introduit dans chacun des caissons.

Les différents amendements ont été répartis uniformément de bas en haut des caissons, intimement mélangés à la terre au fur et à mesure du remplissage.

Cinq essais ont été effectués et chacun en double exemplaire :

Essai 1 : caissons 1 et 2 — essai témoin sans amendement.

Essai 2 : caissons 3 et 4 — renfermant chacun 0,625 kg de sable marin vaseux carbonaté et glauconieux, soit environ 2,5 % pondéraux d'amendement.

Essai 3 : caissons 5 et 6 — renfermant chacun 1,250 kg, soit 5 % de cette même vase carbonatée et glauconieuse.

Essai 4 : caissons 7 et 8 — renfermant chacun 1,250 kg, soit 5 % de glauconie associée à des pérites marines.

Essai 5 : caissons 9 et 10 — renfermant chacun 2,5 kg soit 10 % de ce même amendement à dominante glauconieuse.

Ces essais ont été réalisés en extérieur, sous les conditions climatiques naturelles, à savoir : pluviométrie annuelle voisine de 1 300 mm, température moyenne annuelle voisine de 24 °C (moyenne mensuelle : 20 à 26°) et longue saison sèche de 4 à 5 mois.

2. CARACTÉRISTIQUES DU SOL (voir tabl. I)

Le sol utilisé, ferrallitique psammitique, issu des grès Batékés, est, à plus de 90 %, sableux à sables fins dominants. Il ne renferme que moins de 5 % d'argile, est très filtrant et très faiblement structuré.

La teneur en matière organique y est faible, inférieure à 2 % en surface, à rapport C/N assez élevé, proche de 20. La capacité d'échange, dans les 40 cm supérieurs utilisés est de l'ordre de 3 à 4 mé/100 gr, reposant essentiellement sur la matière organique. Avec moins de 0,5 mé/100 gr de bases échangeables, saturant le complexe absorbant à moins de 10 %, ce sol est très fortement désaturé. Il en résulte un pH eau moyennement acide de 5,7 et un pH KCl de 4,2.

Très pauvres, ces sols ne sont généralement cultivés que sur défriches forestières, et rapidement abandonnés à la jachère. La culture du manioc sur de tels sols ne permet d'obtenir que des rendements faibles, estimés inférieurs à 8 T/ha.

3. COMPOSITION CHIMIQUE DES FERTILISANTS

3.1. Vase carbonatée et glauconieuse (caissons 3-4-5-6)

Cette vase est prélevée dans des fonds de 105 m

TABLEAU I
Évolution de la réaction du sol et du complexe absorbant sous l'action des amendements et du manioc

N° des caissons	Amendement		Sol avant plantation											Sol après récolte											
			Prof. cm	Éch.	PH		N	P ₂ O ₅ Ass.	CaO 1	MgO 2	K ₂ O 3	Na ₂ O 4	S 1 à 4	C.E. éch.	PH	N	P ₂ O ₅ Ass.	CaO 1	MgO 2	K ₂ O 3	Na ₂ O 4	S 1 à 4	C.E.		
					H ₂ O	KCl																		mé/100 g.	
					°/oo		°/oo				°/oo														
1 + 2	Sol témoin		0-10	11	5,7	4,2	0,52	0,21	0,18	0,08	0,06	0,01	0,33	4,2	111	5,7	4,4	0,48	0,22	0,51	0,15	0,04	0	0,70	5,3
			20-30	12	5,7	4,2	0,32	0,08	0,11	0,01	0,03	0,01	0,16	3,4	112	5,4	4,2	0,38	0,11	0,09	0,09	0,04	0,01	0,23	5,0
3 + 4	Sol amendé avec vase carbonatée	2,5 %	0-10	31	7,4	6,9	0,43	0,16	8,30	2,18	0,11	0,14	10,73	6,3	131	8,3	7,6	0,43	0,138	7,75	0,12	0,04	0,04	7,95	6,8
		20-30	32	7,6	7,1	0,32	0,06	7,55	1,76	0,12	0,12	9,55	7,4	132	8,4	7,6	0,32	0,075	7,75	0,64	0,03	0,04	8,46	6,7	
5 + 6	5 %		0-10	51	8,0	7,5	0,51	0,17	10,90	3,69	0,18	0,31	15,08	7,7	151	8,6	7,8	0,48	0,188	11,50	1,32	0,04	0,06	12,92	8,9
		20-30	52	8,1	6,3	0,48	0,07	10,90	3,63	0,16	0,55	15,24	9,3	152	8,6	7,9	0,32	0,075	12,60	1,32	0,04	0,07	14,03	6,7	
7 + 8	5 %		0-10	71	6,8	6,2	0,49	0,18	5,92	1,08	1,33	1,35	9,68	9,0	171	8,0	6,9	0,49	0,14	4,88	0,80	0,06	0,01	5,75	6,6
		20-30	72	6,8	6,2	0,37	0,07	5,47	0,69	1,07	1,13	8,36	5,9	172	7,9	6,9	0,34	0,065	4,71	0,37	0,05	0,01	5,14	5,6	
9 + 10	10 %		0-10	91	7,5	6,9	0,55	0,19	8,45	2,38	1,61	2,54	14,98	10,3	191	8,4	7,5	0,52	0,130	9,60	1,60	0,24	0,07	11,51	8,7
		20-30	92	7,7	7,2	0,40	0,09	8,85	2,15	1,80	2,54	15,34	7,4	192	8,5	7,5	0,34	0,075	8,50	1,71	0,36	0,05	10,62	8,7	

au large de Pointe-Indienne. Elle est composée de 70,8 % de sables calcaires et glauconieux (respectivement 65,3 et 5,5 %) et de 29,2 % de pélites (particules de diamètre < 50 microns).

La composition chimique des pélites a été évaluée sur plusieurs échantillons voisins. En moyenne elle est la suivante (en %) :

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Mn ₃ O ₄	Perte à 1.000°
42,9	9,4	8,7	13,4	2,15	1,32	1,28	0,53	0,03	18,73

et celle de la glauconie :

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂
47,6	6,3	22,9	1,1	≤ 1,5	2,85	0,4	6,1	0,2	0,8
		H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻						
		6,55	4,65						

Partant de ces données, on peut conclure à une composition chimique globale du fertilisant introduit qui sera :

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂
15,01	3,08	3,84	69,28	0,77	0,32	0,70	0,01	0,19

3.2. Glauconie vaseuse (caissons 7-8-9-10)

Les grains de glauconie représentent 67,8 % de cet amendement, les sables calcaires (débris de tests) 7,9 % et la fraction pélitique associée 24,3 %.

La composition chimique de la glauconie, prélevée cette fois à 115 m, ne diffère pas sensiblement de celle de 105 m déjà indiquée.

Par contre, les pélites associées diffèrent légèrement de celles du premier fertilisant :

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Mn ₃ O ₄	Perte à 1.000°
42,1	10,7	21,2	3,8	2,89	1,7	3,33	0,46	0,040	12,7

La composition chimique globale de ce fertilisant glauconieux sera donc approximativement :

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂
43,5	6,87	21,97	9,4	2,64	3,1	4,94	0,12	0,6	

Il faut souligner que les deux fertilisants expérimentés ont été volontairement choisis, tels qu'ils gisent naturellement sur le fond du plateau congolais

et pourraient donc être utilisés sans traitement particulier, mis à part la déchloration à envisager pour tout fertilisant marin (P. GIRESE, 1976). Tout au plus, dans certains cas où le liant pélique excéderait 30 %, un léger broyage après séchage pourrait être envisagé.

4. CARACTÉRISTIQUES DES SOLS APRÈS INCLUSION DES AMENDEMENTS (Voir (tabl. I)

Les quantités totales de calcaire, magnésie, potasse introduites dans les caissons pour chacun des essais, ainsi que le pourcentage de ces trois éléments par rapport à la terre totale sont reportés dans le tableau IV. Les teneurs maximales sont : pour le calcaire 3,4 % (caissons 5 et 6), pour le potassium 0,5 % (caissons 9 et 10), et 0,2 % pour la magnésie dans ces mêmes caissons.

La capacité d'échange du complexe absorbant croît notablement, car à celle du sol proprement dit, vient s'ajouter celle inhérente aux fractions fines, vaseuses essentiellement, du sédiment incorporé. Elle y atteint 6 à 10 mé/100 g, en croissance de 2 à 6 unités et est totalement saturée, la somme des bases échangeables dosées (entre 8 et 15 mé/100 g) dépassant d'ailleurs largement la capacité de fixation avec le risque d'en voir une partie entraînée hors du sol par les eaux de percolation.

Le calcium domine largement le cortège des bases échangeables, particulièrement dans les caissons amendés par la vase carbonatée où il représente de 70 à 85 % du total et encore 60 % dans ceux ayant reçu du sédiment glauconieux, quelle que soit d'ailleurs, dans l'un et l'autre cas, la teneur du sol en calcaire total.

De négligeables dans le sol témoin, les teneurs en magnésium échangeable croissent fortement dans les sols amendés, jusqu'à 3 mé/100 g, notamment dans ceux ayant reçu de la vase carbonatée bien que celle-ci ne renferme que moins de 1 % de MgO total.

L'amendement vaseux carbonaté n'apporte par contre, au départ, que très peu de potassium échangeable, contrairement à la glauconie qui fait croître sa teneur jusqu'à 1,8 mé/100 g. Dans chacun des caissons ayant reçu cet amendement (5 ou 10 %), le potassium représente plus de 10 % du total des bases échangeables. Le manioc étant exigeant en potasse, particulièrement pour la formation de la fécula des tubercules, l'on peut donc déjà prévoir l'effet bénéfique de l'apport de glauconie sur la culture du manioc.

Les teneurs en phosphore demeurent sensiblement identiques à celles du témoin, les quantités apportées étant extrêmement réduites. Quant à celles en

sodium échangeable, elles croissent fortement dans les sols amendés par la glauconie, ce fertilisant en renfermant plus de 3 %.

En relation avec l'abondance des ions Ca^{++} et la saturation du complexe, le pH croît fortement, devenant légèrement alcalin (pH 7 à 8).

5. INCIDENCE DES AMENDEMENTS SUR LA CULTURE DU MANIOC

5.1. Observations sur le développement végétatif

La plantation a été faite par boutures le 6 novembre 1976 à raison de 3 boutures par caisson. Des précipitations importantes, dans les jours qui ont suivi, ont facilité une reprise rapide et homogène. Cette reprise était nettement visible le 16 novembre et le développement des plants s'est poursuivi régulièrement jusqu'à janvier 1977 où aucune différence végétative nette n'est visible d'un caisson à l'autre, chaque plant mesurant de 30 à 40 cm; cette observation est logique dans la mesure où cette période correspond à la consommation des réserves nutritives de chaque bouture. Par contre, un nombre important de feuilles montrent des traces de virose plus ou moins marquée.

En février, une bouture sur trois est éliminée de chaque caisson et un début de parasitage par la cochenille est immédiatement traité.

En mars, la virose s'est atténuée avec la croissance des plants. La végétation des huit sols fertilisés est, en moyenne, plus florissante que celle des sols témoins. Les caissons 9 et 10, à 10 % de glauconie, en particulier, présentent des tiges plus hautes et des feuilles plus abondantes que celles des autres essais.

En avril, il est nécessaire d'éliminer une nouvelle fois la cochenille réapparue à la faveur d'une contamination issue de plantations voisines.

En juin, l'on observe nettement la prépondérance des végétations sur sols amendés par la glauconie (tiges de 1,50 m de hauteur dans les caissons 9 et 10) sur celles des sols amendés par la vase carbonatée qui, elles-mêmes, sont plus développées que celles de l'essai témoin.

Pendant la saison sèche, de juillet à septembre, compte tenu du milieu confiné des essais, il fut nécessaire de procéder à des arrosages réguliers. Malgré cette précaution, la répercussion de la sécheresse sur l'état végétatif des plants, des moins développés en particulier, est nette. Ainsi, l'un des plants du caisson 1 et l'un de ceux du caisson 6 ont presque totalement dépéri et n'ont pu reprendre vie, aux pluies de novembre, qu'à l'état de rejet.

Pendant la saison des pluies de novembre-décembre, les différences observées en juin se sont

accusées davantage, ainsi les plants des caissons 9 et 10 atteignent 2 mètres. La cochenille s'est réinstallée et a nécessité des traitements réitérés.

Puis un phénomène météorologique préjudiciable à la bonne marche de l'expérimentation est intervenu en janvier-février 1978 : la petite saison sèche fut particulièrement nette et prolongée, mais afin d'essayer de rester dans les conditions naturelles, aucun arrosage n'a été effectué. Il en est résulté la mort des deux plants chétifs des caissons 1 et 6 mentionnés ci-dessus ainsi que celle d'un des plants du caisson 9 très sérieusement atteint par la cochenille.

La récolte avait été prévue pour le début mars 1978 soit pour des plants âgés de 16 mois, mais en raison du médiocre état végétatif général de la plantation après la petite saison sèche, il a été décidé de proroger de 1 mois l'expérimentation afin de pouvoir bénéficier du début de la nouvelle saison des pluies. Déterrages et prélèvements ont donc eu lieu le 19 avril 1978.

5.2. Bilan pondéral de la récolte

Les prélèvements ont concerné, successivement, pour chacun des caissons, le système foliaire, les tiges et le système racinaire (le plus important ici en raison de la formation de tubercules). Trente prélèvements ont ainsi au total été effectués aux fins de l'étude du bilan chimique de chacun des essais (les feuilles des essais témoins 1 et 2 ont été regroupées afin d'atteindre les 10 g nécessaires à l'analyse).

Pour le bilan pondéral global de chaque essai, en raison du dépérissement de 3 plants, l'on a cumulé les poids secs des feuilles, tiges et racines et rapporté ces poids à quatre individus pour chacun des 5 essais.

A noter que, malgré les soins, le jour du déterrage, les deux plants du caisson 3 et un du caisson 9 étaient affectés par la cochenille. A noter également qu'une faible part du système racinaire des caissons 4, 6, 7 et 8 (tubercules pour 7 et 8) s'était développé en dehors du caisson dans le sol sous-jacent; ces racines extérieures n'ont pas été proposées à l'analyse chimique mais ont été intégrées dans le bilan pondéral.

Concernant ce bilan pondéral total, l'on obtient un gain de poids variable avec le type d'amendement et son dosage, et qui peut être très important; le poids total de matière végétale sèche récoltée sur le sol amendé étant, par rapport au témoin, multiplié par 1,8-2,5-2,6 et 5,1 pour respectivement les essais 2, 3, 4 et 5 et davantage encore si l'on considère les seuls tubercules dont les poids sont, toujours par rapport au témoin et dans l'ordre, multipliés par 1,5-2,6-3,4 et 6,1. L'essai 5 avec 10 % de glauconie s'avérant, de loin, le plus bénéfique.

TABLEAU II

Poids de matière végétale sèche (en gr.) correspondant à 4 pieds de manioc pour chacun des essais

ESSAIS	1	2	3	4	5
	sans amen- dement	2,5 % de V.C.	5 % de V.C.	5 % de G.V.	10 % de G.V.
Caissons.....	1+2	3+4	5+6	7+8	9+10
Feuilles.....	55,4	85,1	100,4	158,4	158,9
Tiges.....	138,6	302,8	380,4	254,4	719,8
Racines.....	124,4	182,2	312,7	427,7	767
TOTAL.....	318,4	570,1	793,5	840,5	1.645,7

Plusieurs faits ressortent nettement de ce tableau :

— l'apport d'amendement est, dans les 4 cas étudiés, bénéfique;

— à pourcentage égal (5 %) il ressort que l'amendement glauconieux apparaît légèrement plus bénéfique que l'amendement carbonaté (qui renferme d'ailleurs un peu de glauconie);

— pour chacun de ces deux fertilisants l'on observe, parallèlement à l'augmentation de la quantité introduite, une croissance du poids de matière sèche produite, celle-ci étant doublée lorsque l'on passe de 5 à 10 % de glauconie;

— les teneurs, pourtant importantes, de 5 % de vase carbonatée et de 10 % de glauconie ne constituent sans doute pas les teneurs maximales susceptibles de produire un accroissement des rendements.

5.3. Influence qualitative des amendements

La première observation découlant des analyses (tabl. III) est que le calcium, à dose relativement élevée, provoque une certaine mobilisation de l'azote au niveau des feuilles (essais 2 et 3 avec vase carbonatée apportant au sol 1,7 et 3,4 % de CaO) en même temps que sa teneur propre y augmente.

Cette concentration, toute relative, d'azote apparaît également, mais à un moindre degré, dans les tiges et tubercules, par rapport au témoin.

Concernant les tubercules, l'on y observe, sauf dans l'essai 2 une certaine diminution de la teneur globale en azote + éléments minéraux; les gros tubercules obtenus dans les sols amendés étant proportionnellement plus riches en glucides qu'en éléments azotés et minéraux que les petits tubercules récoltés sur sol naturel.

Mais dans la répartition de ceux-ci, l'on observe dans l'essai 5 (10 % de glauconie) une nette augmentation de la proportion de K_2O (63 % des seuls éléments minéraux) et de Na_2O avec

près de 2 %. Corrélativement l'on observe une baisse en MgO, CaO (de plus de la moitié), à un moindre degré de P₂O₅, aussi bien en % de poids sec que de leur proportion au sein de l'ensemble des six éléments

cumulés, depuis le témoin jusqu'à l'essai 5 (essai 2 excepté). La chute globale de la teneur en éléments minéraux + azote atteint pour les essais 4 et 5, par rapport au témoin (essai 1) de 20 à 30 %.

TABLEAU III

Teneurs en azote, phosphore, bases des différentes parties du végétal et quantités exportées pour une récolte de quatre pieds de manioc

		Numéro des saisons	Poids sec en g.	Teneur en % du poids sec						Quantités exportées en g.					
				N	P	K	Ca	Mg	Na	N	P	K	Ca	Mg	Na
Feuilles	Tém.....	1+ 2	55,4	3,51	0,486	1,56	1,65	0,26	0,011	1,94	0,269	0,86	0,92	0,14	0,006
	V.C. { 2,5 %	3+ 4	85,1	4,06	0,692	0,82	3,0	0,29	0,006	3,45	0,589	0,70	0,26	0,25	0,005
	5 %	5+ 6	100,4	4,10	0,537	0,91	2,0	0,23	0,007	4,11	0,539	0,91	2,0	0,23	0,007
	G.V. { 5 %	7+10	158,4	3,76	0,515	0,95	1,63	0,17	0,007	5,95	0,815	1,50	2,58	0,27	0,011
	10 %	9+10	158,9	3,45	0,453	1,44	1,76	0,35	0,009	5,48	0,719	2,29	2,80	0,56	0,014
Tiges	Tém.....	1+ 2	138,6	0,33	0,343	0,61	0,61	0,16	0,006	0,46	0,475	0,85	0,85	0,22	0,008
	V.C. { 2,5 %	3+ 4	302,8	0,56	0,375	0,29	0,94	0,25	0,005	1,69	1,135	0,88	2,85	0,76	0,015
	5 %	5+ 6	380,4	0,40	0,265	0,20	0,67	0,26	0,004	1,52	1,008	0,76	2,54	0,99	0,015
	G.V. { 5 %	7+ 8	254,4	0,63	0,351	0,48	0,62	0,18	0,005	1,60	0,892	1,22	1,58	0,46	0,012
	10 %	9+10	719,8	0,50	0,304	0,83	0,63	0,18	0,008	3,60	2,188	5,97	4,53	1,29	0,057
Racines	Tém.....	1+ 2	124,4	0,37	0,309	0,67	0,50	0,12	0,007	0,46	0,384	0,83	0,62	0,15	0,008
	V.C. { 2,5 %	3+ 4	182,2	0,77	0,276	0,46	0,68	0,21	0,017	1,40	0,502	0,84	1,23	0,38	0,030
	5 %	5+ 6	312,7	0,46	0,180	0,34	0,30	0,10	0,008	1,44	0,562	1,06	0,94	0,31	0,025
	G.V. { 5 %	7+ 8	427,7	0,58	0,165	0,45	0,18	0,05	0,011	2,48	0,705	1,92	0,77	0,21	0,047
	10 %	9+10	767	0,37	0,167	0,73	0,19	0,04	0,029	2,83	1,280	5,60	1,45	0,30	0,222
Total	Tém.....	1+ 2	318,4							2,86	1,128	2,54	2,39	0,51	0,022
	V.C. { 2,5 %	3+ 4	570,1							6,54	2,226	2,42	4,34	1,39	0,050
	5 %	5+ 6	793,3							7,07	2,109	2,73	5,48	1,53	0,047
	G.V. { 5 %	7+ 8	840,5							10,03	2,412	4,64	4,93	0,94	0,070
	10 %	9+10	1645,7							11,91	4,087	13,86	8,78	2,15	0,293

6. BILAN A L'EXPORTATION

Le tableau ci-après reproduit, pour chacun des essais réalisés, le poids total de matière végétale sèche exportée correspondant à la récolte de 4 pieds de manioc, les poids des six éléments étudiés contenus dans cette matière, ainsi que les variations de ces poids, en comparaison avec ceux obtenus pour le témoin.

Du témoin au 4^e essai, la masse végétale produite croît progressivement jusqu'à 2 fois 1/2, puis est brusquement doublée pour l'essai 5, lorsque l'apport de glauconie passe de 5 à 10 %.

La courbe correspondant aux exportations de calcium pour cette masse végétale suit un tracé sensiblement identique, demeurant toutefois assez nette-

ment en retrait, au niveau de l'essai 5 où la part des exportations, revenant aux seuls tubercules, n'est plus que de 12 % contre 26 % pour le témoin. La courbe du phosphore suit approximativement le même tracé.

Les exportations de magnésium, de 4 fois inférieures, en valeur absolue, à celles de calcium, croissent proportionnellement plus rapidement que ces dernières, l'essai 4 paraissant ici aberrant. Le pourcentage de cet élément exporté par les tubercules décroît entre les essais 1 et 5 dans les mêmes proportions que celui du calcium.

Quant aux exportations de potasse, elles conservent pour les essais 2 et 3, malgré la croissance de la masse végétale, des valeurs identiques à celles correspondant au témoin. Plus nettement marquée au niveau de

Essais	N° des saisons	Amendements	Matière végétale sèche (1)		N		P		K		Ca		Mg		Na		Somme (N à Na)	
			T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
			(2)	Tem (3)	(2)	Tem (3)	(2)	Tem (3)	(2)	Tem (3)	(2)	Tem (3)	(2)	Tem (3)	(2)	Tem (3)	(2)	Tem (3)
1	1+2	Témoin	318,4	1	2,86	1	1,128	1	2,54	1	2,39	1	0,51	1	0,022	1	9,45	1
2	3+4	V.C. { 2,5 %	570,1	1,8	6,54	2,3	2,226	2	2,42	0,95	4,34	1,8	1,39	2,7	0,050	2,3	16,97	1,8
3	5+6	(a) { 5 %	793,3	2,5	7,07	2,5	2,109	1,9	2,73	1,1	5,48	2,3	1,53	3	0,047	2,1	18,97	2
4	7+8	G.V. { 5 %	840,5	2,6	10,03	3,5	2,412	2,1	4,64	1,8	4,93	2,1	0,94	1,8	0,070	3,2	23,02	2,4
5	9+10	(b) { 10 %	1645,7	5,1	11,91	4,2	4,087	3,8	13,86	5,5	8,78	3,7	2,15	4,2	0,293	13,3	41,08	4,3

a = vase carbonatée et glauconieuse

b = glauconie vaseuse

1 = végétal sec (feuilles + tiges + racines) correspond à 4 pieds de manioc

2 = T = poids total en grammes

3 = T/Tem = poids total/poids du (ou dans le) témoin.

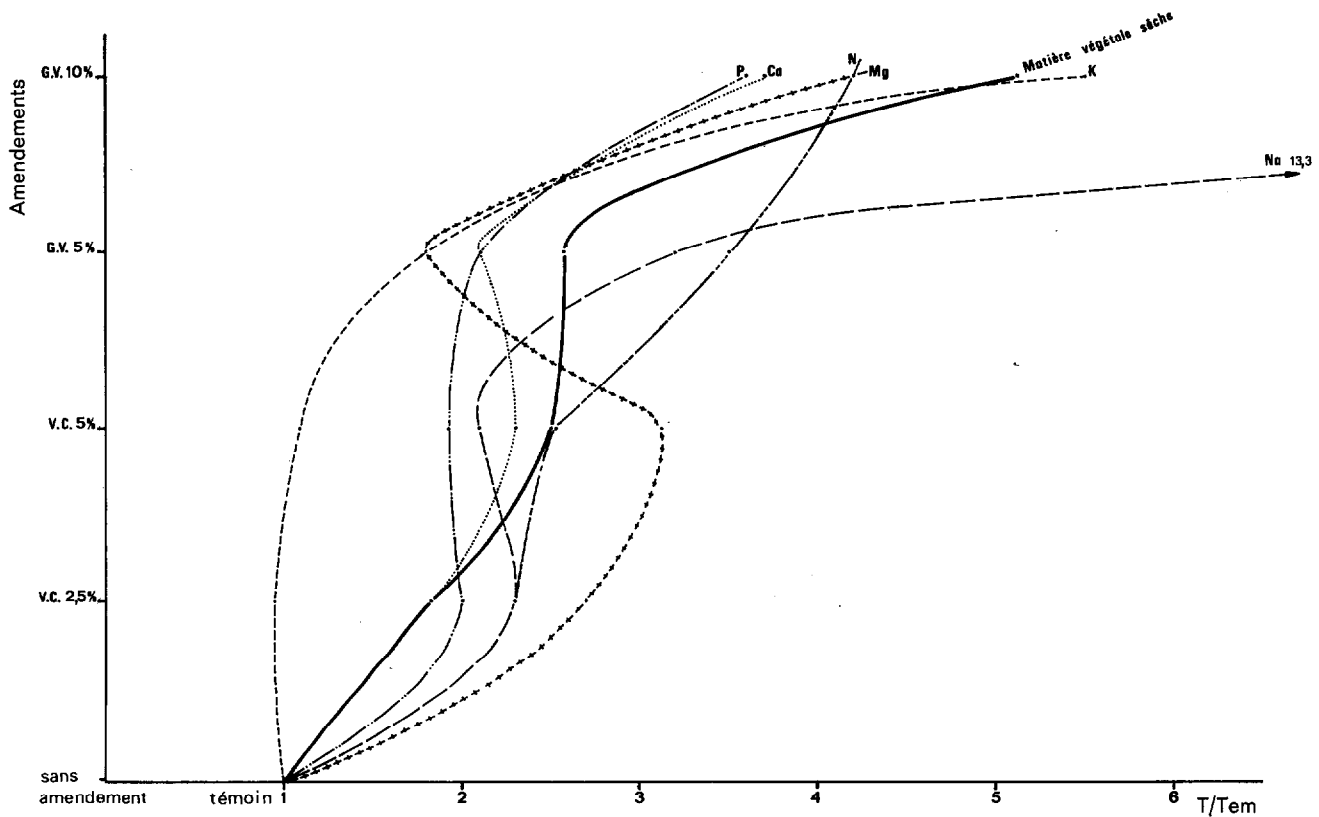


FIG. 1. — Variations par rapport au témoin du poids de la matière végétale sèche obtenue sur les sols amendés et des quantités d'azote, phosphore, bases alcalines et alcalino-terreuses contenues dans celle-ci

l'essai 4, cette consommation de potasse par la plante est, pour l'essai 5, triplée par rapport au précédent et quintuplée par rapport au témoin, croissant alors plus rapidement que la masse du végétal.

Concernant le sodium, l'on en observe une certaine accumulation dans le manioc du 5^e essai, localisée dans les tubercules.

Quant à la quantité d'azote exportée, elle croît progressivement depuis le témoin, tout au long des 5 essais, jusqu'à être quadruplée dans le 5^e, y demeurant toutefois en-deçà du taux de croissance de la matière végétale totale.

7. ÉTAT DE FERTILITÉ DU SOL APRÈS UN CYCLE CULTURAL. (Voir tabl. I)

Les amendements étudiés étant susceptibles d'être utilisés en plein champ, il est utile de connaître le niveau de rémanence de leurs effets sur les propriétés du sol après un premier cycle cultural et les pertes subies par lixiviation, avant une éventuelle remise en culture.

C'est dans ce but que celui-ci a, à nouveau, été analysé, après la récolte du manioc. Les deux horizons 0-10 et 20-30 cm ont été soumis aux mêmes analyses chimiques qu'au départ ainsi qu'au traitement par l'acide nitrique concentré et bouillant afin d'en évaluer la réserve minérale.

La teneur en calcium échangeable demeure élevée, sensiblement identique, parfois même supérieure à ce qu'elle était au départ, alimentée par les particules calcaires introduites, en particulier par les vases carbonatées. Cependant, la somme, réserve calcique + calcium échangeable, dosée en fin d'expérimentation, ne correspond qu'à une faible partie du CaO introduit par les amendements, calcium exporté par la végétation déduit. Le déficit enregistré va de 55 à 67 % pour les essais 5 et 4, à 75 % environ pour les essais 2 et 3 qui, au départ, renfermaient respectivement 1,7 et 3,4 % de CaO. Ce déficit peut être dû au fait que l'attaque nitrique a, peut-être, épargné certains éléments calcaires mais aussi, et sans doute pour une bonne part, à la lixiviation par les eaux de drainage.

La teneur en magnésium échangeable a, pour chacun des essais, fortement décru, seuls les sols relatifs aux essais 3 et 5 en renferment encore plus de 1 mé/100 g. Le magnésium révélé par l'attaque nitrique apparaît, par rapport à celui introduit, légèrement déficitaire, pour les essais 5 et 4, de respectivement, 3 et 25 %, mais excédentaire pour les essais 2 et 3, résultat aberrant qui peut s'expliquer par une hétérogénéité du sédiment vaseux qui ne renferme, en moyenne que 0,8 % de MgO et une homogénéisation imparfaite, car manuelle, du mé-

lange terre + sédiment. La réserve magnésienne demeure importante, supérieure à 10 mé dans le seul essai 5.

La décroissance s'accroît pour le potassium, les teneurs en K_2O échangeable s'effondrent, même dans les sols initialement les plus riches de l'essai 5 où, au départ, 16 % (1,7 mé/100 g) du potassium apporté se retrouvaient sous cette forme. Il n'y subsiste, à la fin du cycle cultural de 18 mois, que 0,3 mé/100 g. Dans tous les autres essais, les teneurs en K_2O échangeable sont ramenées au niveau du témoin (0,04 mé/100 g). La réserve potassique, révélée par l'acide nitrique n'est notable, grâce aux apports de glauconie, que dans les sols des essais 4 et 5, assez importante même dans ce dernier avec plus de 4 mé/100 g. Le déficit enregistré, défini ci-dessus, atteint pour chacun de ces 2 essais, respectivement 50 et 66 %.

Pour ce qui concerne le phosphore total, seul l'apport de glauconie conduit à un certain enrichissement du sol, observé en particulier dans celui de l'essai 5. Après la récolte, tous les sols en sont systématiquement appauvris, ce dernier en conservant toutefois une teneur moyenne de 0,8 ‰, deux fois supérieure à celle du témoin. Quant au P_2O_5 assimilable, ses teneurs demeurent, après le cycle cultural, sensiblement identiques à celles observées au départ, 0,1 à 0,2 ‰.

Comme au début de l'expérimentation, la somme des cations échangeables, constitués pour 80 à 90 % de calcium dans les essais 4 et 5, 90 à 97 % dans les essais 2 et 3, demeure, en général, supérieure à la capacité d'échange du complexe absorbant, ce qui laisse supposer la présence de sels solubles assez abondants (carbonates), favorisant une perte continue par lixiviation, ce que confirment les pH élevés. La réaction du sol, entre le début et la fin des essais, a en effet subi des modifications notables, le pH-eau croissant systématiquement de 0,5 à 1,2 unités et devenant franchement alcalin (8 à 8,6). Quant au pH-KCl, il croît de la même façon entre 6,9 et 7,9.

L'on peut noter enfin, qu'à l'issue des 18 mois du cycle végétatif du manioc, il n'apparaît pas de variations notables des teneurs en matière organique; mais l'on observe, par rapport au témoin, une certaine décroissance des teneurs en acides organiques, humiques et fulviques, dans tous les essais.

CONCLUSION

La transposition de l'expérimentation précédente au champ nécessiterait, pour une plantation de un hectare de manioc avec des espacements moyens de un mètre, des apports de 6,25 ou 12,5 tonnes de vase carbonatée, ou bien de 12,5 ou 25 tonnes de

glauconie vaseuse, auxquels correspondent les quantités d'éléments fertilisants suivantes (amendement supposé apporté comme lors des essais, à l'emplacement de chaque plant) :

Éléments fertilisants kg/ha	Vase carbonatée		Glauconie vaseuse	
	6,25 t/ha	12,5 t/ha	12,5 t/ha	25 t/ha
CaO.....	4.330	8.660	1.175	2.350
MgO.....	48	96	330	660
K ₂ O.....	44	88	618	1.236

Cependant, pour ces sols pauvres, sableux, et très filtrants, ne possédant qu'un faible pouvoir de fixation des bases et de l'eau, les pertes par lixiviation sont importantes. Il y aurait donc lieu, pour une meilleure rentabilisation, de procéder, non pas à un tel apport massif, mais à des apports fractionnés, plus fréquents, pluriannuels et localisés à la couche supérieure du sol, avec, pour les vases carbonatées, addition d'un peu de potasse.

Étudiant la lixiviation de CaO et MgO au Congo également, G. MARTIN (1961), cité par J. BOYER (1978), a constaté que, même pour des sols très argileux, les pertes, au bout de 3 ans, atteignaient 50 % du CaO et 60 % du MgO introduits sous la forme d'un calcaire faiblement dolomitisé, en une seule fois.

Des résultats obtenus précédemment, il ressort — que l'essai 2 est peu concluant (poids des tubercules augmenté seulement de 50 %) — que pour un même tonnage d'amendement, le poids des tubercules obtenus est multiplié par 2,6 pour l'essai 3 et par 3,4 pour l'essai 4, l'amendement glauconieux s'avérant qualitativement supérieur — que l'essai 5, qui voit le poids des tubercules sextuplé, est, de loin, le plus probant. Le manioc a donc d'autant plus fortement répondu à l'apport de potassium que la quantité de cet élément introduite est plus importante. Les rendements obtenus seraient encore certainement améliorés par l'adjonction d'une fumure azotée (et phosphatée) qui n'a pas été apportée lors des essais.

Malgré la lixiviation, les réserves en CaO et MgO subsistant dans le sol de l'essai 5, à l'issue du cycle cultural, sont encore importantes, qui continuent à alimenter de façon satisfaisante le complexe en ions

Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺. Les rapports Ca/Mg allant de 3,5 à 6 y sont demeurés satisfaisants du début à la fin de l'essai. Quant à la réserve potassique, si elle demeure encore relativement importante à la fin de l'essai, elle paraît plus difficilement accessible d'où l'intérêt des apports fractionnés d'amendement. Le rapport Ca+Mg/K (= 6,1) qui était un peu en dessous du seuil minimum couramment admis, au début des essais, croît en effet fortement au cours de ceux-ci pour dépasser 30 et se rapprocher du seuil maximum à la fin de ceux-ci.

L'une des données importantes concernant la fertilité a trait au pH qui présente fréquemment des limites de tolérance variables avec les cultures. Pour le manioc, celles-ci, indiquées par J. BOYER (1978), d'après les travaux de divers auteurs, seraient comprises entre 4 et 7 avec un optimum entre 5 et 6,5. Or ici, dès l'introduction des amendements, il croît fortement, passant de 5,7 à 7 ou 8; et au cours de la période végétative du manioc, nous le voyons, sous l'effet vraisemblablement de sels solubles, et quelle que soit la nature ou le dosage de l'amendement, croître encore entre 8 et 8,6 et entrer dans une zone de franche alcalinité, ce qui ne paraît cependant pas être préjudiciable à la bonne croissance du manioc.

L'utilisation de ces sédiments, glauconieux en particulier, ne peut qu'être bénéfique, mais afin de ne pas en grever le coût par des transports importants, leur emploi, à dose massive, ne peut être envisagé qu'à proximité immédiate des gisements. Or, il se trouve que les sols les plus pauvres de la République Populaire du Congo sont précisément ceux de la façade maritime du pays, plaine littorale et série des cirques; ils s'étendent sur une profondeur dépassant 50 km et constituent de surcroît l'environnement de la seconde ville du pays.

Un article précédent (P. GIRESE, 1976) avait envisagé les conditions de faisabilité d'exploitation d'un gisement sous-marin fertilisant surabondant dans un contexte régional. La proximité de Pointe-Noire, le développement des techniques modernes d'extraction des dépôts meubles sous-marins, l'absence pratique de traitement après l'extraction sont des facteurs favorables, tempérés cependant par la profondeur importante (105 à 120 m) des plus fortes concentrations glauconieuses.

Cette première expérimentation présente plusieurs aspects positifs qu'il conviendrait de vérifier à l'échelle du champ cultivé, notamment sur les sols très appauvris de la ceinture maritime de Pointe-Noire.

Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.
le 28 juillet 1982.

BIBLIOGRAPHIE

- BOYER (J.), 1978. — Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et sub-humides. *Initiations-Documentations techniques* n° 35. O.R.S.T.O.M. Paris.
- DENIS (B.), 1974. — Carte pédologique Brazzaville-Kinkala, République Populaire du Congo, à 1/200.000. Notice explicative n° 52. O.R.S.T.O.M.-Paris.
- GIRESE (P.), ODIN (C. S.), 1973. — Nature minéralogique et origine des glauconies du plateau continental du Gabon et du Congo. *Sedimentology*, 20 : 457-488.
- GIRESE (P.), 1976. — Étude prospective des glauconies sous-marines du Golfe de Guinée en tant que fertilisant potentiel des sols tropicaux. *Annales Université Marien N'Goubi*. T. XIII, *sous presse*.
- JAMET (R.), 1976. — Carte pédologique du Congo à 1/200.000. Feuille Pointe-Noire. Notice explicative n° 65. O.R.S.T.O.M.-Paris.
- MARTIN (G.), 1961. — Essai d'appréciation des pertes en calcium et magnésium après un apport d'amendement calcaire dans les sols de la Vallée du Niari. Rapport O.R.S.T.O.M.