

REPUBLIQUE DU MALI
IER - DRA
SRCVO - Agro-Pédologie
Sotuba, Bamako

DRAT

INSTITUT ROYAL
DES TROPIQUES
AMSTERDAM,
PAYS-BAS

FERTILITE DES SOLS AU MALI-SUD ET DANS L'OFFICE DU NIGER ET L'INTEGRATION DES DONNEES ANALYTIQUE DU SOL ET DE LA PLANTE

Tome I: N-P-K-C_a-M_g-S-Al

W.J Veldkamp et A. Traoré

(avec la collaboration de M.K N'Diaye, M.K Keita et M. Bagayoko)

Cellule Agro-Pédologie

Projet "Assistance au Laboratoire des Sols / AGP"

Octobre 1990

CONTENU: AZOTE

PHOSPHORE

POTASSE

CALCIUM

MAGNESIUM

SOUFRE

ACIDITE, AL-TOXICITE

1-13

14-25

26-38

39-47

48-56

57-65

66-73

ANNEXES: I.

II-VI

VII

VIII

IX

ZONES AGRO-ECOLOGIQUES

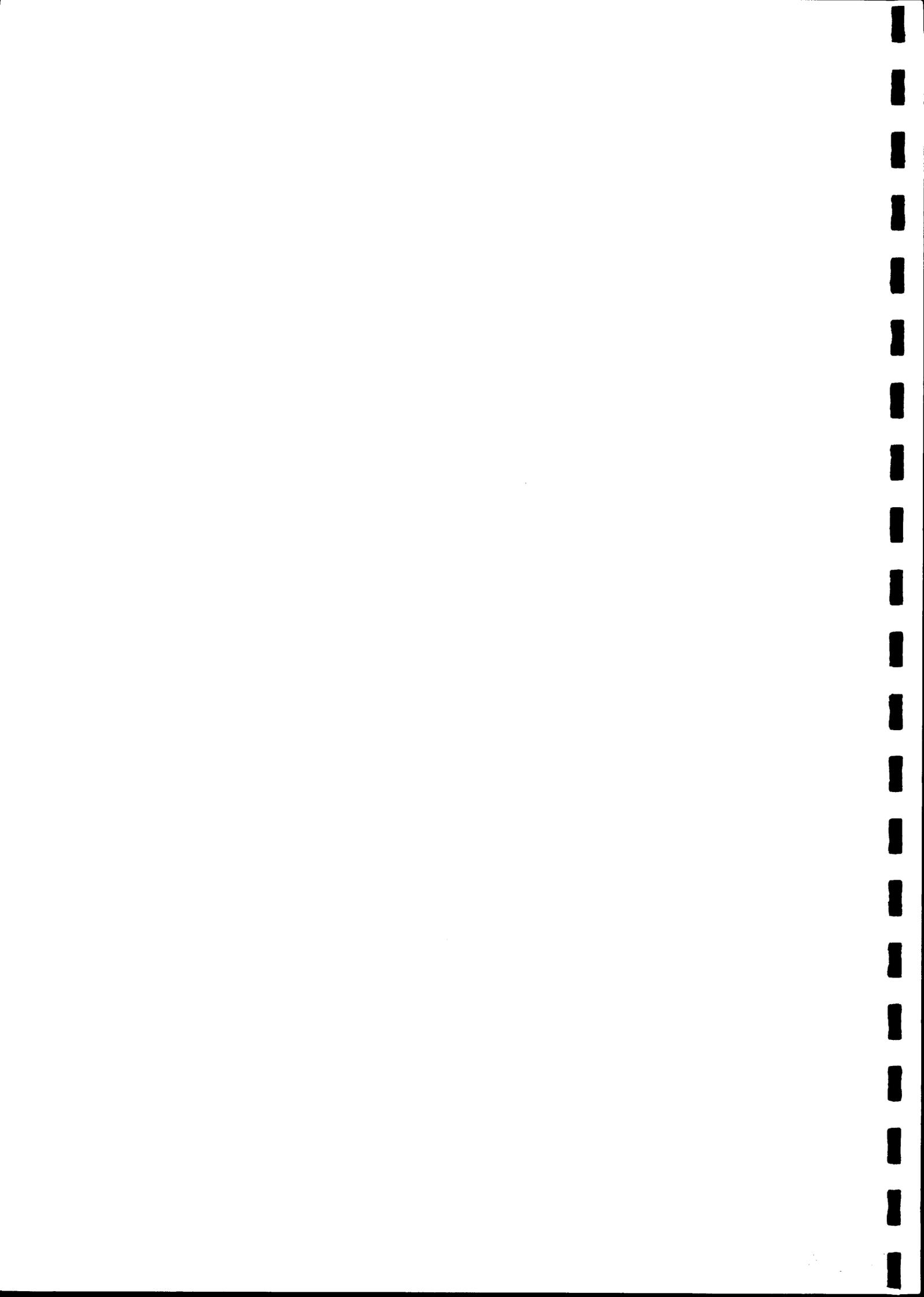
TYPOLOGIE ET APITUDE DES SOLS

BILANS DES ELEMENTS NUTRITIFS

POUR TROIS SYSTEMES DE CULTURES

PRELEVEMENTS DE LA PLANTE

BIBLIOGRAPHIE



INTRODUCTION

Ce texte est préparé à l'intention de donner un résumé des aspects de fertilité du sol dans deux régions du Mali. Celles régions sont importantes pour l'agriculture malienne. Le résumé est fait sur les aspects de fertilisation de six éléments nutritifs principaux et le contraindre de l'acidité-toxicité d'aluminium dans les cultures importantes.

Le texte donne une base d'interprétation des données analytiques et les résultats importants de la recherche agro-pédologique au Mali. J'espère que cet essai formera une base pour la future recherche agro-pédologique et les recommandations spécifiques dans le domaine de fertilité et la productivité des sols.

Par élément des aspects des pertes et des exportations dans les systèmes de culture sont données avec les intrants et leur efficacité et il y a quelques bilans minéraux pour montrer ce qu'il se passe dans une rotation avec la disponibilité et la réserve. Il y a une section qui rend le taux d'un élément dans les sols différentes. L'interprétation des données analytiques concerne le sol et la plante. Chaque section est terminée par des recommandations par zone agro-écologique, type de sol, niveau des intrants, culture et degré de déficience ou carence.

Dans les annexes on trouve la caractérisation des zones agro-écologiques au Mali et une description des types de sol dans le Mali-sud et l'Office du Niger. En suite les contraintes agronomiques-pédologiques sont données pour déterminer les aptitudes des cultures par type de sol dans chaque zone. Les aptitudes sont rendues seulement pour le Mali-sud. L'aptitude signale les contraintes physiques pour une production durable aux deux niveaux des intrants, bas et haut. Il faut comparer ces contraintes avec l'interprétation des résultats d'analyse. Une liste des prélèvements des parties des plantes à prélever et à quel stade de croissance est incluse.

Un tome II est prévu pour étudier les aspects de matière organique, pH, fumier, salinité, sodicité, complexe absorbante, bore, cuivre, fer, manganèse, molybdène, zinc, CaCO_3 -libre et CaSO_4 -libre.



1. AZOTE

1.1. L'AZOTE DANS LES SYSTEMES DES CULTURES

L'azote est disponible pour les plantes sous deux formes: NH_4^+ et NO_3^- . La disponibilité des deux formes dans la solution du sol dépend de plusieurs facteurs. La plupart des dicotylédons (coton, légumineuses) préfèrent NO_3^- ; les monocotylédons souvent n'ont pas de préférence ou une préférence pour NH_4^+ (comme le riz).

Le NO_3^- très soluble et très mobile dans le sol peut entraîner des pertes potentielles par lixiviation assez élevées. Cette forte solubilité lui confère une action plus rapide que le NH_4^+ , surtout dans les régions sèches ou pendant des périodes de sécheresse.

Les cations NH_4^+ fixés par le complexe absorbant du sol sont moins susceptibles aux pertes par lixiviation, leurs effets sur les cultures se fera de manière plus graduel. Un désavantage de NH_4^+ est son action acidifiant lors de sa transformation microbienne vers NO_3^- .

Actuellement au Mali, les engrais azotés disponibles sont tous de types ammoniacaux.

Le taux d'azote total du sol dépend surtout de sa richesse en matière organique et de la qualité de cette matière organique mesuré par le rapport C/N. Cette réserve azotée du sol sera progressivement disponible pour les cultures par le biais de la minéralisation, ce processus étant fortement dépendant des conditions physico-chimiques et biologiques du sol.

1.1.1. Pertes de l'azote

1.1.1.1 Lixiviation.

Les pertes par lixiviation de NO_3^- augmentent de plus en plus quand on va vers le sud avec l'augmentation de la pluviosité. Il semble que la lixiviation constitue l'une des sources de pertes d'azote les plus importantes. Les mesures effectuées par Grimme (1985) donnent des pertes variant entre 8-15 kg N/ha/an. Ces pertes, selon certaines sources affecteraient surtout le N minéralisé. Mukwunye et Vlek (1986) ont estimé les pertes par lixiviation pour l'Afrique sub-saharienne entre 0 et 10 %.

En pratique pour limiter ces pertes, l'application d'engrais azotés en zone Mali-sud doit se faire de manière fractionnée en relation avec le drainage et la perméabilité par type de sol.

Les estimations des pertes par zone agro-écologique (cf. annex I.) sont:

Tableau 1.1

Zone	Estimations des pertes de N par lixiviation (sol normal)	
	Drainage (mm/an)	Ecart et moyenne des pertes de N (kg N/ha)
Sudan-nord	0-220	0 - 26, 14
Sudan-sud II	130-380	7 - 38, 22
Sudan-sud I	310-480	19 - 50, 37
Guinée-nord II	430-550	33 - 67, 50
Guinée-nord I	520-580	36 - 72, 54

Dans la partie nord (Tominian) les pertes par lixiviation sont faibles. On peut dire que dans cette région relativement sèche l'utilisation d'engrais azoté sous forme NO_3^- peut être appliqué.

Dans l'Office du Niger l'estimation des pertes par lixiviation est de 24 kg N/ha/an, basée sur un drainage dans les sols de 300 mm/an.

1.1.1.2 Denitrification.

Les pertes de dénitrification dans les sols anaérobiques pourraient être très grandes, surtout dans les sols irrigués de l'Office du Niger ou ces pertes sont estimés dans les bilans minéraux d'environ 25 % de l'azote appliqué et 10 % de l'azote fixé par l'*Azolla/Anabaena* et 10 % pour l'azote minéralisé.

En agriculture pluviale la dénitrification est moins importante; il y aura des pertes localisées avec les flaques aux champs qui peuvent causer un engorgement temporaire. Dans les sols acides ($\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) < 5$) les pertes seront moins parce que les bactéries de dénitrification soient pas ou moins actives.

1.1.1.3 Brûlis.

Les pertes par le brûlis des tiges des céréales pourraient être estimés en prenant la différence entre l'exportation de grain seuls et l'exportation total; pour les céréales ces pertes pourraient être entre 5 et 30 kg N/ha (cf. tableaux 1.5 et 1.6).

1.1.1.4 Eau de l'irrigation.

L'azote de l'engrais utilisé (uree) est très soluble et pour cela il y a des pertes considérables de N dans l'eau d'irrigation (estimé à 7 % environ de engrais-N).

1.1.1.5 Volatilisation.

Dans les sols avec un pH élevé il y a formation d'ammoniac gazeux (NH₃) s'échappant très facilement. Ces formes de pertes doivent faire l'objet d'une attention particulière dans les sols alcalins de l'Office du Niger. On estime à environ 13 % de l'azote engrais les pertes par volatilisation dans ces conditions.

1.1.1.6 Erosion.

Les pertes par érosion affectent surtout les réserves en N du sol. Elles constituent ainsi à moyen et long terme un frein à la mise en oeuvre d'une agriculture durable et une production soutenue.

L'intensité des pluies, mesuré par le facteur R dans la formule de Wischmeier, a été donné par Roose (1981):

Tableau 1.2

Zone	Facteur R (moyen)	% de la facteur R de la zone Guinée-nord I
Sudan-nord	375	50
Sudan-sud II	425	57
Sudan-sud I	475	63
Guinée-nord II	600	80
Guinée-nord I	750	100

Le facteur climat R montre que l'érosivité de pluies varie du simple au double entre le nord et le sud de la zone Mali-sud. Les estimations en perte d'azote par érosion, présentées ci-dessous, sont basées sur Roose (1981) et Pieri (1985, 1986).

Tableau 1.3

Niveau d'érosion	Pertes en N (kg/ha)		
	Disponibile	Réserve	
		Sol	Ruissellement
2 t/ha/an	0.4	4.1	3.5
5	1	11	4.7
10	2	23	6.8

Le niveau de fertilisation sera important dans telles estimations. Une étude des pertes en N dans la récolte du coton (Veldkamp 1990) a montré les pertes estimées (en kg N/ha) pendant la première année de cette culture, aux deux niveaux de fertilisation (le niveau vulgarisé et la pratique paysanne), sont estimées comme suivant:

Tableau 1.4

Fertilisation vulgarisé (150 kg/ha complexe coton, 50 kg/ha uree, 5 t fumier)

Niveau d'érosion	Pertes en N (kg/ha)										
	Sol, matière org.		Fumier		Engrais		Ruissellement/pluie		Total		
	Disp.	Réserve	Disp	Res	Disp.	Res	Disp.	Res.	Disp.	Res.	
2 t/ha/an	0.2	1.8	0.8	2.5	1.1			0.3		2.4	4.3
5	0.5	4.5	1.5	5	2.2			0.6		4.8	9.5
10	1	9	3.8	12.5	5.5			1.5		11.8	21.5
20	2	18	8	25	11			3		24	43

Fertilisation paysanne (100 kg/ha complexe coton, 40 kg/ha uree, 2 t fumier)

Niveau d'érosion	Pertes en N (kg/ha)										
	Sol, matière org.		Fumier		Engrais		Ruissellement/pluie		Total		
	Disp.	Réserve	Disp	Res	Disp.	Res	Disp.	Res.	Disp.	Res.	
2 t/ha/an	0.2	1.8	0.3	1	0.8			0.3		1.6	2.8
5	0.5	4.5	0.6	2	1.6			0.6		3.3	6.5
10	1	9	1.5	5	4			1.5		8	14
20	2	18	3	10	8			3		16	28

(Tableau 1.4)

Notes. Cettes estimations sont basé sur:

	Niveau d'érosion (t/ha/an)				
	0	2	5	10	20
- sol+matière organique: N-total 0.1 %;					
tons de pertes du sol de surface:	0 t	2 t	5 t	10 t	20 t
- fumier: 1 % N, 30 % disponible; % de perte du fumier:	0 %	5 %	10 %	25 %	50 %
- engrais: 50 % recovery; % de perte d'engrais:	0 %	5 %	10 %	25 %	50 %
- ruissellement directe de la pluie; % perte de la pluie:	0 %	5 %	10 %	25 %	50 %

1.1.1.7 Exportations par les cultures.

Les résultats sont présentés aux tableaux, calculé sur base de rendement grain, gousses ou canne: sont

Tableau 1.5

TOTAL

Exportations totales en N par rendement grain/gousse/canne (kg/ha)

Culture	500			1000			1500			2000			3000			4000			5000					
	min	MOY	max	min	MOY	max	min	MOY	max	min	MOY	max	min	MOY	max	min	MOY	max	min	MOY	max			
Arachide	36	38	48	43	51	70	51	69	105	74	110	170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Blé	-	-	-	22	25	30	30	39	48	41	52	66	52	78	100	80	105	126	114	137	158	-		
Coton	-	-	-	25	38	49	52	60	70	78	90	102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Mais	22	33	53	25	44	69	28	54	80	33	63	90	47	81	110	68	100	127	90	117	141	-		
Mil	17	21	27	30	40	53	45	60	77	70	84	97	-	145	-	-	-	-	-	-	-	-		
Niébé	-	-	-	87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Riz	-	-	-	19	20	35	24	35	51	30	45	62	45	62	80	60	78	100	78	97	120	-		
Soja	-	-	-	115	140	160	130	155	180	150	175	200	205	230	260	-	-	-	-	-	-	-		
Sorgho	17	25	30	25	34	43	35	45	60	45	56	75	64	80	109	82	107	137	104	134	164	-		
	<u>50.000</u>			<u>75.000</u>			<u>100.000</u>			<u>125.000</u>			<u>150.000</u>											
Canne à sucre	25	43	95	38	75	146	54	106	175	73	138	200	97	165	213	-	-	-	-	-	-	-	-	

Tableau 1.6

GRAIN/GOUSSE

Exportations grains/gousses en N par rendement grain/gousse (kg/ha)

Culture	500			1000			1500			2000			3000			4000			5000			
	min	MOY	max	min	MOY	max	min	MOY	max	min	MOY	max	min	MOY	max	min	MOY	max	min	MOY	max	
Arachide	24	36	-	35	45	57	50	56	63	-	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Blé	-	-	-	16	19	22	24	27	30	33	36	41	49	54	62	66	72	80	80	90	101	-
Coton	-	-	-	18	26	34	26	38	56	35	53	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mais	-	9	-	8	18	27	20	28	37	28	38	50	39	55	72	51	68	81	84	91	97	-
Mil	-	-	-	-	19	-	-	27	-	-	46	-	-	120	-	-	-	-	-	-	-	-
Niébé	-	58	-	-	83	-	-	116	-	-	131	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Riz	-	-	-	10	12	14	14	22	35	18	30	43	29	43	57	40	56	70	52	69	84	-
Soja	-	-	-	40	62	83	70	88	104	102	117	130	175	182	190	-	-	-	-	-	-	-
Sorgho	-	19	-	18	23	30	25	30	35	30	35	41	44	50	56	60	65	72	73	80	90	-

1.1.2 Apports de l'azote.

1.1.2.1 Pluie.

L'apport d'azote dans les pluies de la zone sahelienne est estimé à 3 g/ha/mm pluie (Penning de Vries et Djiteye 1982). Une autre estimation est de 3 kg N/ha/an par 500 mm pluie (Bloomfield 1974). Dans la zone Mali-sud, les estimations varient fortement, entre 0.5 et 12.2 kg N/ha/an avec une moyenne de 5.7 kg N/ha/an.

1.1.2.2 Mineralisation.

La vitesse de la mineralisation de la réserve en N vers une forme de N-soluble est estimé pour les savanes guineennes et soudaniennes à 4.5 % par an sous culture; sous jachère la vitesse est plus ou moins 1 % par an (Gigou 1989).

La mineralisation de la matière organique réduira sous conditions acides ($\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) < 5.5$).

En Côte d'Ivoire Gigou et Chabalier (1987) ont mesuré environ 10 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$ dans les sols en fin de la saison sèche et le début de l'hivernage. A mi-saison ce $\text{NO}_3\text{-N}$ est utilisé ou est "disparu". A même temps ils ont trouvé 5 ppm sous forme de NH_4 , produit par la mineralisation; en Août il reste seulement 2-3 ppm NH_4 . Le total de cet azote minérale est $10+3=13$ ppm N (16 kg N/ha). La forme de N-organique soluble pourrait être plus importante que les formes anorganiques, mais il n'y a pas des données disponibles au Mali. Par la mineralisation de la matière organique dans le sol on a estime la partie N-organique à 13 kg/ha/an; dans cette estimation la vitesse de la mineralisation de la matière organique ancienne est estimée à seulement 1 % par an.

1.1.2.3 N₂-fixation.

La fixation de l'azote atmosphérique par les légumineuses en symbiose avec *Rhizobium* sp. est influencée par de nombreux facteurs tels que: l'acidité du sol (toxicité aluminique), la gestion du sol, les nématodes, la disponibilité de phosphore et de molybdène, le taux d'humidité du sol et l'application d'innoculum. La part de l'azote ainsi fixée qui sera disponible pour les cultures suivantes de la rotation n'est pas aisée à évaluer. Les études supplémentaires seront nécessaire pour déterminer le rôle des différents légumineuses dans le bilan azoté des diverses rotations culturels au Mali.

La symbiose *Azolla/Anabaena* en rizière inondée peut donner après enfouissement la même année l'équivalent de 30 kg N/ha apportée sous forme d'urée (SRCVO/AGP 1984).

1.1.2.4 Fumure organique.

Pour la fumure organique (fumier) les estimations donnent un taux de 1 % de N en moyenne; 35 % de cet azote sera disponible pendant la première année.

1.1.2.5 Engrais.

Les engrais communément utilisés au Mali sont:

- Uree $\text{CO}(\text{NH}_4)_2$ avec 46 % N.
- Sulphate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ avec 21 % N.
- Diammonium phosphate $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ avec 18 % N.
- Complexe coton avec 14 % N.

La fertilisation azotée est souvent moins efficace que l'apport des autres éléments nutritifs. La solubilité et les différentes pertes potentielles réduisent l'efficacité de cette fertilisation. L'efficacité de l'engrais azoté est souvent entre 30 et 60 %. La pluviométrie est le facteur le plus important qui détermine le moment optimal d'application. Dans les périodes de sécheresse il faut suspendre l'application de l'azote. L'urée sera le plus efficace pendant les périodes humides avec une culture qui pousse vite. On peut faire des recommandations sur le fractionnement et les dates d'applications, mais ce sera surtout le paysan lui-même qui les décidera sur base de sa propre expérience et de ses contraintes.

L'utilisation d'engrais entraîne une acidification progressive des sols. L'effet acidifiant de trois engrais azotés est montré ci-dessous (FAO 1985):

- Uree: 71 kg CaCO_3 par 100 kg urée.
- Sulphate d'ammonium: 110 kg CaCO_3 par 100 kg sulphate d'ammonium.
- Diammoniumphosphate: 70 kg CaCO_3 par 100 kg DAP.

Par unité de $\text{NH}_4\text{-N}$ appliquée le sulphate d'ammonium est 3.5 fois plus acidifiant que l'urée et le diammonium phosphate.

On registre des effets différents en ajoutant de l'urée ou du sulphate d'ammonium à l'eau d'irrigation. Avec de l'urée le pH augmente et inversement il baisse avec le sulphate d'ammonium. Dans les sols alcalins de l'Office du Niger, l'application du sulphate d'ammonium entraînerait une baisse du pH, d'où l'amélioration de la disponibilité d'autres éléments notamment le phosphore et le zinc. Un pH légèrement bas réduirait les pertes d'ammoniac par volatilisation. Ces hypothèses devraient être vérifiées expérimentalement par une application de base de sulphate d'ammonium. L'urée restant la forme la plus efficace pour les apports après répiquage.

1.1.2.6 Doses d'engrais appliqués.

Pour chaque culture les doses normales au Mali sont données comme suivantes:

Arachide: 0 kg N/ha.

Blé: 30-200 kg N/ha (fractionné), dépendant de la variété et de la pluviométrie/irrigation.

Canne à sucre: - culture vierge 120 kg N/ha (2/3 de fond, 1/3 2-3 mois après semis);
- repousse 180 kg N/ha (1/3 après la récolte, 2/3 deux mois après).

Coton: 30-100 kg N/ha (fractionné), variable suivant les paysans et les rendements. Avec des doses élevées de PNT et/ou de fumure organique, plus de N est nécessaire pour obtenir un rendement élevé. La dose vulgarisée est de 150 kg/ha complexe coton, 50 kg/ha uree et 5 ton fumure organique.

Mais: 40-50 kg N/ha (fractionné) dans la zone nord (arachidière) de la CMDT (550-700 mm pluviométrie) et 80-90 kg N/ha (fractionnés) dans la zone sud (cotonnière) de la CMDT (900-1200 mm pluviométrie). Pour obtenir des rendements plus élevés (comme 3-5 t/ha avec une bonne pluviométrie et des variétés à bon potentiel) il faut augmenter la dose jusqu'à 150 kg N/ha. L'arrière effet après le coton est 0-30 kg N/ha, dépendant des pertes par lixiviation. En association avec mil on peut donner dans la zone sud une dose optimale de 90-100 kg N.

Mil: 0-50 kg N/ha (fractionné), dépendant de la variété et de la fertilisation phosphatée. L'arrière effet de l'arachide est variable (0-25 kg N/ha), dépendant de la fertilisation phosphatée. Pour l'association mil/niébé 18 kg N/ha sont vulgarisés.

Niébé: 0 kg N/ha.

Riz: 30-150 kg N/ha (fractionné !), dépendant de la variété, la gestion de la fertilisation N et le régime hydrique. Pour les variétés traditionnelles 30-50 kg N, les variétés du riz pluviale: 40-60 kg N et les variétés du riz irrigués, cycle courts (135-140 jours) 60-90 kg N et cycle moyen (>140 jours) 60-150 kg N/ha. On peut remplacer 1 kg engrais-N par 100 kg de la fumure organique. Azolla, enfoui une fois par an, donnera 30 kg N; avec une fertilisation-N à même temps l'effet d'Azolla doublera. L'enfouissement de la paille est important de point de vue de la fertilisation azotée; le taux minimale de N dans la paille doit être 0.54 %. Avec une double culture dans la saison sèche 30-40 kg N/ha sont à ajouter.

Soja: Ce n'est pas encore claire si une dose de démarrage de 20-30 kg N/ha est toujours nécessaire. L'expérience montre qu'une dose "starter" est intéressante surtout en absence d'innoculum.

Sorgho: 0-70 kg N/ha (fractionné), dépendant de la variété et la fertilisation phosphatée. L'arrière effet du coton est 0-7 kg N, dépendant de la lixiviation dans le sol. Souvent 30 kg N/ha suffit après une culture fertilisée; dans les autres cas 37 kg N/ha.

1.1.3. Bilans minéraux concernant l'azote dans quelques rotations culturales

1.1.3.1. Coton-mais-sorgho.

Avec des rendements de 1500-2000 kg/ha et des exportations de 38-53 kg N/ha la disponibilité de N avec la dose vulgarisée est suffisante avec les pertes normales prévisibles. Il semble que les paysans en général donnent une dose moyenne de 100 complexe coton et 40 uree (total 32 N), c'est à dire 12 N moins que la dose vulgarisée. Si les rendements sont dans l'ordre de 1000-1500 kg/ha avec des exportations de 27-38 kg/ha, il semble que la dose de l'azote est optimisée par les paysans et dans ces cas l'azote détermine, en relation avec la pluviométrie, le rendement du coton (avec la fertilisation ordinaire sur le coton, les autres éléments sont suffisants en quantités).

Le maïs suivant souffrira avec une seule dose de 50 kg uree (23 N) s'il n'y a pas un effet de N-résiduel après le coton (bien fertilisé et à faible exportation). Sans arrière effet le rendement de maïs sera affecté par le taux de N disponible, qui sera de l'ordre de 12-14 kg N, c'est à dire des rendements d'environ 700 kg/ha; avec un arrière effet (12-14 et 15-17, totale 27-31 kg N) les rendements seront environ 1600 kg/ha.

Le sorgho suivant souffrira de plus en plus du manque de N disponible. Après le maïs il n'y a pas beaucoup de N disponible pour le sorgho, sauf par la minéralisation. Le bilan N sera négatif. Dans la pratique le sorgho utilise une partie du N minéralisé et les pertes seront limitées. En somme: le rendement du sorgho sera faible. Si le sorgho suit directement le coton, sans l'application d'urée, la disponibilité de N sera de 27-31 kg N qui donnera un rendement d'environ 1500 kg/ha; sans arrière effet il restera 12-14 kg de N-disponible qui donnera un rendement de moins que 500 kg/ha.

Sous une rotation coton-maïs-sorgho avec une érosion de 2 t/ha/an les pertes totales seront d'environ 80 kg N/ha/3 ans, 27 kg N/ha/an (1 % de réserve en N par an) dans un sol vierge normal et probablement 2 % dans un sol normal sous culture.

Il y a une tendance chez les paysans de changer vers la rotation biennale coton-sorgho.

1.1.3.2. Arachide-mil-mil.

Dans cette rotation il y a une faible dose d'engrais azoté sur le mil, sauf la fumure organique estimé à 1 t/ha avec 10 kg N (4 kg N disponible, 6 en réserve). La quantité vraiment fixe par les nodules de l'arachide n'est pas connue. La fixation de N dépend de plusieurs facteurs, entre autres le rendement. Si l'arachide pousse bien sans apport de N, la quantité de N fixé par la plante sera plus haute. Donc, l'arrière effet de l'arachide sur le mil suivant n'est pas clair. Le bilan de l'azote après l'arachide est négative, ce qui peut confirmer la remarque de Pieri (1989) que l'arachide accroît le déficit de l'azote des sols.

Avec l'engrais diammoniumphosphate et le fumure organique les rendements du mil seront 700-1400 kg/ha. Avec l'exportation de la litière on peut attendre des carences en N dans le système. Avec une érosion faible, le seuil de rendement mil avec exportation de la litière est plus ou moins 1000 kg/ha. Au dessus ce niveau il sera une carence en N; au dessous, le mil n'a pas de déficience en N.

La rotation arachide-mil-mil avec une érosion de 2 t/ha/an les pertes sont 50-80 kg N/ha/3 ans, 17-27 kg N/ha/an. (0.7-1 % de la réserve en N par an).

1.1.3.3. Riz irrigué.

Les pertes en N sont très variables et la gestion de la fertilisation-N dans le système du riz irrigué est possiblement le facteur principal pour déterminer le rendement. Les différentes pertes d'engrais-N dans l'Office du Niger sont estimées comme suivantes:

- 7 % des pertes par la gestion de l'eau d'irrigation, 4-11 kg N.
- 13 % des pertes par la volatilisation, 8-20 kg N.
- 25 % des pertes par la dénitrification, 19-42 kg N.

Les pertes de la lixiviation par l'action de drainage sont estimées à 24 kg N/an. En total il y a 55-97 kg N/ha de perte avec un moyen de 76 kg N.

Toutes les pertes en N concernent de l'azote dans une forme disponible pour les plantes. Il n'y a pas des pertes de N-réserve. La dynamique de N est une dynamique actuelle pendant la saison de la culture.

L'efficacité de N détermine le rendement du riz. L'effet d'Azolla/Anabeana sur la disponibilité de N est clair, tandis que le retournement de la paille reconstruit la réserve en N avec un faible effet sur le N-disponible. On peut remarquer que le seuil critique C/N de la paille dans la culture continue de riz irrigué est plus haute que dans les systèmes pluviaux; c'est à dire que, dans le système riz irrigué, une paille avec C/N de 25 minéralise déjà l'azote.

1.1.4. Taux de N dans les sols maliens.

Le taux de N dans les sols vierges du Mali-sud est estimé sur base des données de C-organique et une quotient C/N moyenne de 10:

Tableau 1.7

Sol	Ecart et moyen de N (%) 0-20 cm		Ecart et moyen de pH(H ₂ O), 0-20 cm		Interprétation de taux de N
- 1	0.08-0.23	0.15	5.2-7.2	6.2	très haut
- 21	0.09-0.18	0.13	5.2-7.4	6.3	très haut
- 22	0.05-0.07	0.06	4.7-6.2	5.4	bas
- 31	0.07-0.33	0.20	4.9-5.8	5.3	haut
- 32	0.03-0.15	0.09	5.2-6.7	5.9	haut
- 33	(0.06)		4.6-5.4	5.0	-
- 34	0.03-0.13	0.08	5.0-6.6	5.8	moyen
- 35	0.04-0.12	0.08	4.5-6.3	5.4	bas-moyen
- 36	0.03-0.15	0.09	4.8-6.6	5.7	moyen-haut
- 41	0.06-0.17	0.11	4.7-8.2	6.4	haut
- 42	0.02-0.22	0.12	4.3-7.4	5.8	moyen
- 43	0.06-0.50	0.25	4.6-6.6	5.6	haut

Sous culture on trouve un taux moyen de 0.05 % N dans les sols 0-20 cm avec un pH(H₂O) de 5.5, donc un niveau bas du taux de N.

Le taux de N dans les sols de l'Office du Niger est:

Tableau 1.8

Sol	Ecart et moyen de N (%), 0-20 cm		Ecart et moyen de pH(H ₂ O), 0-20 cm		Interprétation taux N
- Dian	0.02-0.10	0.06		6.5	haut
- Moursi	0.02-0.11	0.05		7.0	haut
- Danga	0.01-0.06	0.04		6.7	moyen
- Danga-Seno	0.02-0.04	0.03		6.2	bas
Sol	Ecart et moyen de N (%), 20-40 cm		Ecart et moyen de pH(H ₂ O), 20-40 cm		Interprétation taux N
- Dian	0.01-0.06	0.03		7.1	moyen
- Moursi	0.01-0.04	0.03		7.8	(haut)
- Danga	0.01-0.10	0.02		7.0	bas
- Danga-Seno	0.01-0.03	0.02		6.7	bas

1.2. INTERPRETATIONS DES DONNEES ANALYTIQUES

1.2.1. SOL

Avec la variabilité de l'azote soit partiellement naturel, soit partiellement par la gestion du paysan, une relation entre le taux de l'azote dans le sol et des niveaux critiques des cultures n'est pas bien possible. Pour déterminer une carence actuelle en N dans la culture il faut prendre des prélèvements des parties des plantes.

1.2.1.1. Classification de l'azote totale dans le sol.

En général c'est possible de déterminer qualitativement le taux de l'azote dans le sol. Après Dabin (Boyer 1982), il semble que une relation entre N-total et le pH(H₂O) est à tenir compte:

Tableau 1.9

pH(H ₂ O)	Taux de l'azote dans le sol				
	Très haut	Haut	Moyen	Bas	Très bas
7.0	> 0.05	0.03-0.05	0.02-0.03	< 0.02	-
6.5	> 0.10	0.05-0.1	0.03-0.05	0.02-0.03	< 0.02
6.0	> 0.15	0.08-0.15	0.05-0.08	0.03-0.05	< 0.03
5.5	> 0.2	0.12-0.2	0.08-0.12	0.04-0.08	< 0.04
5.0	> 0.3	0.15-0.3	0.12-0.15	0.05-0.12	< 0.05
4.5	> 1.0	0.3 -1.0	0.15-0.3	0.08-0.15	< 0.08

En principe, une relation entre le taux de P et K et le taux relative de l'azote est possible, mais pour le moment cette relation n'est pas claire pour le Mali-sud. En Kenya, Janssen (1986, 1987) a calculé les niveaux critiques de la C organique en relation avec pH(KCl), P-Olsen et le K-échangeable; si le C/N est connu les niveaux critiques pour l'azote pourraient être déterminé.

1.2.1.2. Le rapport C/N et la disponibilité de l'azote.

Sur base de C/N, il y a des niveaux critiques du taux de l'azote dans la matière organique, comme suivante:

Tableau 1.10

C/N		Taux de N-disponible
Culture sèche	Riz irrigué	
C/N < 10		très haut
10 - 12		haut
12 - 16	< 25	moyen
16 - 24	25 - 35	bas
> 24	> 35	très bas

1.2.2. PLANTE

1.2.2.1. Sensibilités des cultures pour une déficience-carence de N dans la plante.

Tableau 1.11

Culture	LIMITATION DE DEFICIENCE mesuré comme le taux de N (en %) dans la partie indiquée de la plante			Partie de la plante; stade de croissance
	Rien	Modéré	Marginal	
Arachide	>3.5	<3.5	-	Feuilles adultes les plus jeunes; avant floraison jusqu'à floraison.
	>3.5	<3.5	-	Partie supérieur de la tige et quelques feuilles près d'apex; commencement de la formation des gousses ("early pegging stage") (70-84 JAS).
Blé	>3.6/4.3	3.4-3.6/4.3	<3.4	Les feuilles adultes les plus jeunes; tallage (~35 JAS).
	>5.0/5.2	4.9-5.0/5.2	<4.2/4.9	Partie aérienne; FS3, 56 JAS.
	>3.4/4.2	<3.4/4.2	<3.4	Partie aérienne; FS5-6, 84 JAS.
	>1.9/2.4	<1.9/2.4	<1.9/2.0	Partie aérienne; FS9-10.
	>3.6	3.0/3.4-3.6	<3.0	Les feuilles adultes les plus jeunes; ("shooting").
	>1.7/2.0	<1.7/2.0	<1.5/1.7	Partie aérienne; FS10.1-10.5, épisaison.
>2.3/2.6	2.0-2.3	<2.0	Les feuilles adultes les plus jeunes; floraison.	

(Tableau 1.11)

Culture	LIMITATION DE DEFICIENCE mesuré comme le taux de N (en %) dans la partie indiquée de la plante			Partie de la plante; stade de croissance
	Rien	Modéré	Marginal	
Canne à sucre	>1.5	1.0-1.5	<1.0	Les limbes des feuilles 3-6 ("blades 3-6"); croissance végétative rapide.
	>2.4	<2.4	-	La 3 ^{ème} feuille (dénervé) près d'apex; 2 MAS (repousse), 3 MAS (non-repousse).
	>2.1	<2.1	-	La 3 ^{ème} feuille (dénervé) près d'apex; 3 MAS (repousse), 5 MAS (non-repousse).
	>1.9/2.0	1.6/1.8-1.9/2.0	<1.6/1.8	La 3 ^{ème} feuille (dénervé) près d'apex; 4-7 MAS (repousse), 6-10 MAS (non-repousse).
Coton	>5.0	<5.0	-	Feuilles sur les 3-4 noeuds de la tige; 45 JAS.
	>4.5	<4.5	-	Feuilles sur les tiges 4-7; 60-89 JAS.
	>3.0/3.3	2.5-3.0/3.3	<2.5	Feuilles adultes les plus jeunes; première fleur.
	>1.2/1.8	<1.2/1.8	-	Petiole de la feuille adulte la plus jeune; première fleur (84 JAS).
	>0.2/0.8	<0.2/0.8	-	Petiole de la feuille adulte la plus jeune; floraison (maximale).
Mais	>3.0	<3.0	-	La feuille de l'épi; floraison male ("tasseling").
	>2.75	2.5-2.75	<2.5	La feuille de l'épi; le début de la dessiccation des soies ("silking").
	>2.7/3.1	2.2-2.7/3.1	<2.2	La 6 ^{ème} feuille de base; floraison jusqu'au début de la dessiccation des soies.
Mil	>2.2/2.5	1.9-2.2/2.5	<1.9	Partie aérienne; ("4-5 weeks after clipping").
Niébé	>3.6	(<3.6?)	-	Grain; maturité.
Riz	>2.5	<2.5	-	Feuille paniculaire ("Y leaf blade"); tallage.
Soja	>4.3	4.0-4.3	<4.0	Dernières feuilles adultes les plus jeunes; fin de floraison jusqu'à le commencement de la formation des gousses.
Sorgho	>3.0	<3.0	-	Partie aérienne; stade 3 croissance végétative, 35 JAS.
	>2.75/3.2	2.0/2.5-2.75/3.2	<2.0/2.5	La (3 ^{ème} sous l'épi) feuille adulte la plus jeune près de sommet.

1.2.2.2. Sensibilité des cultures pour une toxicité de N dans la plante.

Tableau 1.12 Culture	LIMITATION DE TOXICITE mesuré comme le taux de N (en %) dans la partie indiquée de la plante			Partie de la plante; stade de croissance
	Rien	Modéré	Marginal	
Arachide	<4.5	>4.5 ?	-	Feuilles?; avant floraison??
Blé	<5.2	>5.2	-	La limbe de la feuille ("leafblade"); tallage.
	<4.4	>4.4	-	La limbe de la feuille ("leafblade"); ("shooting").
	<3.0	>3.0	-	Partie aérienne; épiaison.
	<3.0	3.0-3.3	> 3.3	La limbe de la feuille ("leafblade"); floraison.
Canne à sucre	<1.9/2.7	1.9/2.7-3.2	>3.2	La 3 ^{ème} feuille (dénervé) près d'apex; 3-7 MAS.
Coton	<4.5	>4.5	-	Les feuilles adultes les plus jeunes; pré- floraison??
	?	1.8 ppm NO ₃ -N	-	Petiole de la feuille adulte la plus jeune; première fleur (84 JAS).
	?	0.7 ppm NO ₃ -N	-	Petiole de la feuille adulte la plus jeune; floraison.
	?	0.35 ppm NO ₃ -N	-	Petiole de la feuille adulte la plus jeune; première "boll" ouverte.
Mais	<3.5	3.5-3.75	>3.75	La feuille de l'épi; la début de la dessiccation des soies ("silking").
Mil	<3.5/4.0	>3.5/4.0	-	Partie aérienne; ("4-5 weeks after clipping").
Riz	<3.6	>3.6	-	La feuille adulte la plus jeune; tallage maximale, (42 JAS).
Soja	<5.5	>5.5	-	Dernières feuilles adultes les plus jeunes; avant le commencement de la formation des gousses.
Sorgho	<4.0	>4.0	-	La (3 ^{ème} sous l'épi) feuille adulte la plus jeune; stade 6-8 ("bloom stage").

1.2.2.3. Interactions entre N et des autres éléments dans la plante.

Tableau 1.13

Culture	Rapport N/P optimale	DRIS blé		DRIS maïs (cf. Beaufrès 1957)	
		moyen	cv%	moyen	cv%
Blé	9.9 - 14.6				
Arachide; le rapport optimale est dépendant du taux de N (%) dans la feuille:	% N = 2.0				
	2.5				
	3.0				
	3.5				
	4.0				
	4.5				

1.3. RECOMMANDATIONS

1.3.1. Niveau BAS des apports.

1.3.1.1. PAR ZONE Appliquez plus de l'azote dans les régions plus humides pour compenser la lixiviation augmentée.

1.3.1.2. PAR SOL - Mali-sud:

- | | |
|-------------------------|---|
| 21. (Fumure org.). | 35. (Uree). |
| 22. (Fumure org.+uree). | 36. Fumure org.+ (peu de complexe coton/céréale). |
| 31. Gestion de résidu. | 41. (Fumure org.). |
| 32. (Fumure org.) | 42. Fumure organique + (uree sur les sols sableux). |
| 33. Fumure organique. | 43. Fumure organique + (peu de complexe coton/céréale). |
| 34. Fumure organique. | |

- Office du Niger: appliquez l'Azolla et enfouissez de la paille sur tous les sols, si possible.

- | | |
|-----------------|--------------------------|
| Dian. | Fumure organique. |
| Moursi-alkalin: | Fumure org. + uree. |
| Moursi-autres: | Fumure organique. |
| Danga: | Fumure organique + uree. |
| Danga-Seno: | Fumure organique + uree. |

1.3.1.3. PAR LIMITATION SUR BASE DE L'INTERPRETATION ANALYTIQUE ET PAR CULTURE

Taux modéré: introduisez une légumineuse efficace en fixation de N dans la rotation ou en association; utilisez la fumure organique, bien que le taux de l'azote pourrait faible.

Arachide, niébé, soja: appliquez le fumier.

Blé: optimalisez l'uree par unité N en relation avec le prix du blé.

Coton: appliquez une combinaison de la complexe coton+fumure organique+uree en quantités disponibles; appliquez l'uree surtout sur les sols acides (type 35, cf. annex II).

Mais: appliquez le fumier disponible; appliquez un sac d'uree sur la plupart des sols dans la zone arachidière; appliquez deux sacs d'uree dans le sud ou sur les sols acides.

Mil, sorgho: appliquez le fumier disponible; appliquez un sac d'uree si disponible, surtout sur les sols acides.

Riz, bas-fonds: appliquez et enfouissez l'Azolla et la paille; fractionnez l'uree.

Riz, Office du Niger: appliquez et enfouissez l'Azolla et la paille; appliquez le fumier+uree sur les sols alcalins et les sols limoneux-sableux; appliquez fumier+l'uree disponible sur les sols argileux.

Taux marginal: commencez une jachère avec une dominance d'une légumineuse; appliquez la fumure organique; en utilisant l'uree sur les cultures de rente ou les céréales; fractionnez l'engrais en deux ou trois portions.

Arachide, niébé, soja: appliquez le fumier, PNT et l'innoculum de Rhizobium.

Blé: optimalisez l'uree par unité N en relation avec le prix du blé.

Coton: appliquez une combinaison de la complexe coton+fumure organique+uree en quantités disponibles; appliquez l'uree surtout sur les sols acides (type 35).

Mais: appliquez le fumier disponible; appliquez un sac d'uree sur la plupart des sols dans la zone arachidière; appliquez deux sacs dans le sud ou sur les sols acides.

Mil, sorgho: appliquez le fumier disponible; appliquez un ou deux sacs d'uree si disponible, surtout sur les sols acides.

Riz, bas-fonds: appliquez et enfouissez l'Azolla et la paille; fractionnez l'uree, surtout sur les sols sableux.

Riz, Office du Niger: appliquez et enfouissez l'Azolla et la paille; appliquez fumier+uree sur les sols alcalins et les sols limoneux-sableux; appliquez fumier+l'uree disponible sur les sols argileux.

1.3.2. Niveau HAUT des apports.

1.3.2.1. PAR ZONE Appliquez plus de N dans les régions plus humides: deux à trois fois plus dans le sud que dans le nord.

1.3.2.2. PAR SOL - Mali-sud:

- | | |
|---------------------------------------|---|
| 21. Fumure org. + N. | 35. NPK sur la culture de rente + extra N. |
| 22. Fum. org. + plus de N que sol 21. | 36. N-dose ordinaire. |
| 31. PNT + NK. | 41. NPK sur la culture de rente. |
| 32. NPK régulièrement. | 42. N basé sur le rendement potentiel. |
| 33. Beaucoup de N. | 43. NPK ou N basé sur le rendement potentiel. |
| 34. NPK sur la culture de rente. | |

- Office du Niger: appliquez L'Azolla et enfouissez de la paille sur tous les sols, si possible.

- | | |
|---------------------|--------------------------|
| Dian: | NPK + uree. |
| Moursi-alcalin: | NPK + extra uree. |
| Moursi-autres: | NPK + uree. |
| Danga-normal: | extra uree. |
| Danga-dégradé: | forte dose d'uree. |
| Danga-Seno-normale: | forte dose d'uree. |
| Danga-Seno-dégradé: | extra forte dose d'uree. |

1.3.2.3. PAR LIMITATION SUR BASE SE L'INTERPRETATION ANALYTIQUE ET PAR CULTURE

Taux modéré: cherchez une legumineuse efficace pour la rotation ou en association avec une autre culture ("relay cropping"); fractionnez l'engrais azoté (uree, NH₄SO₄).

Arachide, niébé, soja: appliquez le fumier + PNT.

Blé: optimalisez l'uree par unité N en relation avec le prix du blé.

Canne à sucre: optimalisez l'application d'uree sur base de rendement de la canne ou du sucre.

Coton: appliquez la dose vulgarisée de la complexe coton sur le coton étant une culture de rente; optimalisez l'application par unité de N dans l'uree en relation avec le prix du coton.

Mais: appliquez la dose vulgarisée de complexe céréale+uree sur le maïs étant une culture de rente; optimalisez l'application par unité de N dans l'uree en relation avec le prix du maïs; appliquez 1-2 sacs d'uree dans la zone nord; appliquez plus d'uree (3-4 sacs) dans la zone sud ou sur les sols acides.

Mil, sorgho: appliquez l'engrais azoté en combinaison avec P et K dépendant le rendement potentiel.

Riz, bas-fonds: appliquez et enfouissez l'Azolla et la paille; fractionnez l'uree.

Riz, Office du Niger: appliquez et enfouissez l'Azolla et la paille; appliquez NPK sur base de sulphate d'ammonium comme fertilisation de fond et une dose extra d'uree (pour compenser les pertes de volatilisation) sur les sols alcalins; appliquez NPK de fond et l'uree fractionné après sur les sols argileux; appliquez une dose extra d'uree, surtout sur les parcelles dégradés-acides.

Taux marginal: appliquez l'engrais azoté en deux ou trois fractions; utilisez la fumure organique, si possible; appliquez phosphate (préférentiellement PNT) et potassium avec l'azote; appliquez la chaux si le sol est trop acide; appliquez une forte dose de fumure organique avec "mulch" ou une culture de couverture pour construire une meilleur taux de matière organique (redressement); laissez la parcelle sous jachère pour une année ou sous une forme d'agro-forestrie.

Arachide, niébé, soja: appliquez un chaulage ou une forte application de PNT; utilisez une fertilisation du phosphore additionnelle et le fumier pour augmenter l'activité du Rhizobium; appliquez l'innoculum.

Blé: optimalisez l'uree par unité N en relation avec le prix du blé.

Canne à sucre: optimalisez l'application d'uree sur base de rendement de la canne ou du sucre.

Coton: appliquez la dose vulgarisée de complexe coton sur le coton étant une culture de rente; optimalisez l'application par unité de N dans l'uree en relation avec le prix du coton.

Mais: appliquez la dose vulgarisée de la complexe céréale sur le maïs étant une culture de rente; optimalisez l'application par unité de N dans l'uree en relation avec le prix du maïs et la zone agro-écologique; appliquez 1-2 sacs dans la zone nord et appliquez plus d'uree (3-4 sacs) dans la zone sud ou sur les sols acides.

Mil; sorgho: appliquez l'engrais azoté en combinaison avec P et K, dépendant le rendement potentiel.

Riz, bas-fonds: appliquez et enfouissez l'Azolla et la paille; fractionnez l'uree, surtout sur les sols sableux.

Riz, Office du Niger: appliquez et enfouissez l'Azolla et la paille; appliquez NPK sur base de sulphate d'ammonium comme fertilisation de fond et une forte dose d'uree pour compenser les pertes fortes de volatilisation sur les sols alcalins; appliquez NPK de fond et une extra dose d'uree sur les sols argileux; appliquez une forte dose d'uree, surtout sur les parcelles dégradés-acides.

2. PHOSPHORE

2.1. LE PHOSPHORE DANS LES SYSTEMES DE CULTURE

En général le taux de phosphore dans les sols du Mali est souvent bas ou très bas, soit en P-assimilable, soit en P-total. Cet élément est peut-être l'élément nutritif le plus important en vue d'une stratégie d'amélioration à long terme de la fertilité des sols.

Le phosphore se trouve dans le sol sous plusieurs formes; il y a des formes solubles comme les anions $H_2PO_4^-$ et $(HPO_4)^{2-}$ (leur proportion est dépendant du pH) et il y a des formes moins solubles ou souvent occlus, comme les phosphates de fer et d'alumine dans les sols acides, ou les phosphates de calcium dans les sols alcalins. Une partie importante du phosphore se trouve dans la matière organique. C'est pour cela que le sol superficiel est d'importance du point de vue fertilisation phosphatée. Néanmoins, dans les sols de l'Office du Niger il n'y a pas beaucoup de variation dans le taux de P-assimilable et de P-totale avec la profondeur; dans ces sols la relation avec la matière organique n'est bien claire.

2.1.1. Pertes du phosphore

2.1.1.1. Erosion.

La plupart des pertes de phosphore sont causées par l'érosion. Le sol superficiel disparaît avec l'érosion et entraînant ainsi une partie de la réserve en P, estimée entre 1 et 4 kg P/ha/an selon les cas.

2.1.1.2. P-fixation.

Le fixation de P est en relation avec le taux d'argile, la matière organique, la température et le taux du fer (et aluminium) extractible avec l'oxalate d'ammonium. Il y a plusieurs chercheurs qui ont essayé de trouver une relation claire. LeMare (Greenland 1980) a utilisé une relation avec d'oxalate-extractible Fe dans les sols nigériens (l'Al-phosphate est fortement lié avec le phosphore très fixé-occlue).

Monkunya et Vlek (1986) ont trouvé une relation entre la fixation phosphatée et la fraction de (Fe+Al) oxalate-extractible. Ils disent que 80-85 % du P appliqué était absorbé, des données qui semblent eux du Nigeria ou on a trouvé l'absorption jusqu'à 400 kg P/ha (150-230 ppm P). Le sol superficiel de Samanko au Mali a été mesuré d'avoir un taux de oxalate-extractible (Fe+Al) de 1850 ppm.

Sah et Mikkelsen (1989) ont discuté la relation entre la fixation P et "reducible ammonium oxalate-extractible Fe" dans les sols de Californie (USA).

Un programme de recherche du Laboratoire à Sotuba pour mesurer ces fractions de Fe et peut-être Al pourrait donner une méthode de détermination du pouvoir fixation des sols maliens.

La matière organique joue un rôle important dans la fixation du phosphore. Dans les sols avec beaucoup de Fe-oxalate-extractible et une faible taux de matière organique où on ajoute de la matière organique (paille), la fixation de P augmentera. Dans l'Office du Niger où les sols ont un faible taux de matière organique, l'application de la paille peut augmenter la fixation P et causera une carence en P. Les sols du Mali-sud ont aussi un taux faible de matière organique et surtout dans les sols argileux rouges, il faut rechercher le taux de types de Fe en relation avec la fixation du phosphore.

2.1.1.3. Exportations par les cultures.

Les exportations du phosphore sont estimées avec de la littérature internationale. Les résultats sont donnés sur base des rendement grain, gousse ou canne. Tableaux 2.1 et 2.2 donnent respectivement:

- les exportations du phosphore dans les grains, gousses ou canne et
- les exportations du phosphore dans les parties aérienne totales (tiges, feuilles, grains/gousses).

Tableau 2.1

Cultures	Exportations totales en P par rendement grain/gousse/canne (kg/ha)																				
	500			1000			1500			2000			3000			4000			5000		
	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max
Arachide	-	1	4	2	4	8	3	7	12	6	12	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Blé	-	-	-	6	7	7	7	8	9	9	10	12	13	15	17	18	21	25	23	27	32
Coton	2	3	5	3	6	9	6	10	16	9	15	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mais	4	5	6	4	6	8	4	7	9	5	8	11	8	11	16	12	16	23	16	23	33
Mil	1	2	3	3	6	9	6	10	14	10	14	20	-	26	-	-	-	-	-	-	-
Niébé	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Riz	-	-	-	4	5	6	5	6	9	6	8	10	9	12	14	13	15	18	16	19	23
Soja	-	-	-	9	11	15	11	14	20	13	17	28	19	28	-	-	-	-	-	-	-
Sorgho	2	5	9	3	6	10	4	8	12	6	9	13	10	13	16	14	18	21	19	22	27
Canne à sucre	50.000			75.000			100.000			125.000			150.000								
	13	15	22	16	21	36	20	28	46	23	32	52	25	37	56						

Tableau 2.2

GRAINS/GOUSSE	Exportations grains/gousses en P par rendement grain/gousse (kg/ha)																				
	500			1000			1500			2000			3000			4000			5000		
	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max
Arachide	-	1	4	1	4	8	1	6	9	5	8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Blé	-	-	-	4	5	6	5	7	8	6	8	9	9	12	13	12	16	19	16	20	23
Coton	2	2	3	3	5	7	5	8	10	7	10	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mais	1	2	3	2	3	4	3	4	5	4	5	7	6	8	11	8	10	12	10	12	15
Mil	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Niébé	-	5	-	-	8	-	-	11	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Riz	-	-	-	1	3	6	2	4	7	3	5	8	5	8	11	7	10	14	9	13	17
Soja	-	-	-	5	7	8	8	9	11	10	12	13	16	17	19	-	25	-	-	-	-
Sorgho	1	1	2	2	3	4	3	4	5	4	5	7	6	8	11	9	12	14	11	15	18

2.1.2. Apports du phosphore

2.1.2.1. Pluie.

Pour le Mali-sud les estimations de P dans la précipitation sont d'environ 1.3 et 2.1 kg/ha.

2.1.2.2. Fumure organique.

Pour la fumure organique les estimations concernent un taux de 0.2 % de P, dont 75 % est utilisable; de cette quantité 80 % sont mobilisables pendant la première année.

2.1.2.3. Engrais.

Les engrais phosphatés au Mali sont:

- Diammoniumphosphate (DAP) avec 21 % P.
- Super simple phosphate (SSP) avec 9 % P.
- PNT avec 27 à 30 % P₂O₅ (13 % P).
- Complexe coton, céréale avec 22 % P₂O₅ (9.6 % P).

Dans les deux sources (DAP et SSP) le phosphore est soluble. L'efficacité de tels types d'engrais est évaluée entre 10 et 15 %. Elle est fonction de la texture et l'acidité du sol; plus le sol est argileux et acide, plus élevés seront les besoins d'apports d'engrais phosphatés. Pour avoir la même concentration de P dans la solution du sol, un sol argileux acide a besoin de 3 à 4 fois la quantité d'engrais phosphaté, ce taux est de 2 à 3 fois sur sol limoneux acide ou argileux neutre par rapport aux besoins d'un sol franc neutre. En fonction de l'existence d'une érosion plus ou moins intense, un apport annuel pourrait être plus efficace qu'un apport massif de phosphore en une seule fois et pour plusieurs années.

2.1.2.4. Phosphate naturel de Tilemsi (PNT).

Le PNT contient 30 % P₂O₅ (13 % P), 43 % CaO et 1 % MgO. Le taux de fer est très élevé (6 %). La solubilité du PNT est faible comparativement aux engrais phosphatés DAP et SSP, mais c'est un phosphate naturel "tendre" ce qui lui confère une meilleure solubilité vis à vis des autres phosphates naturels. L'expérience agronomique a montré un effet mesurable du PNT dès la première année de son application en champ. Mais pour certaines cultures telle que la canne à sucre, le maïs un apport supplémentaire en phosphore soluble peut se justifier la première année. Les années suivantes, le PNT apporté en fond à la dose de 300 kg/ha peut assurer l'alimentation phosphatée des cultures pendant quelques années. Sur cotonnier une dose de PNT en fond s'est montré très efficace, actuellement la station de N'Tarla étudie activement le remplacement du phosphore du complexe coton par le PNT.

Le PNT s'avère le plus efficace dans les zones humides (Soudan-sud et Guinée-nord), son effet est mitigé en zones sèches (Sahel et Soudan-nord).

La solubilité du PNT est la plus élevée dans les sols acides (pH(eau) < 6). Mais dans les sols très acides on peut attendre une saturation élevée en aluminium sur le complexe absorbant; une partie du phosphore solubilisé est utilisée pour neutraliser cet aluminium libre (formation de phosphate d'alumine). Le pouvoir neutralisant du PNT est faible, il a été évalué au laboratoire à 20 % par rapport au CaCO₃. Cette action du PNT est très intéressante surtout pour les cultures sensibles à la toxicité aluminique (cotonnier, soja). Le taux élevé de calcium dans le PNT est très intéressant sur sols acides et surtout bénéfique pour les légumineuses notamment l'arachide.

PNT sera plus efficace si on l'utilise dans la fumure organique des parcs; il y aura un meilleur effet du PNT et de la fumure organique. Aussi l'épandage du PNT (étant une poussière) est moins difficile.

Dans une rotation le PNT est plus efficace sur les légumineuses et la fixation de N. Le PNT est ainsi transformé sous forme organique. S'il y a une légumineuse dans la rotation, il faut appliquer le PNT avant le labour de cette culture. Une plante comme le Mucuna (velvet bean) a montré une très bonne efficacité en utilisant le PNT (Bako Baon et Van Diest 1989 dans Kang et Van der Heide 1989).

Une dose de redressement est 300 kg PNT/3 an ou 500 kg/5 an.

De façon générale, le PNT doit être considéré comme une importante source locale de phosphore pour l'amélioration de la productivité des sols du Mali.

2.1.2.5. Doses d'engrais appliqués.

Arachide: 65-75 kg SSP (= 6-7 kg P/ha). Il y a plus d'effet de P-résiduaire des années passées que le P appliqué directement sur l'arachide.

Blé: 13-26 kg P/ha, surtout sur les sols qui ne sont pas beaucoup utilisés.

Canne à sucre: 26-87 kg P/ha.

Vierge - dans les sols avec un taux bas de P: 87 P; dans les sols avec un taux haut de P: 44 - 52 P.
Repousse: 26-52 P.

Coton: 13-44 P.

Maïs: 10-20 kg P/ha, mais souvent on apporte plus de P en relation avec la fertilisation azotée et le rendement attendu. La dose maximale est 46 kg P/ha. Après une culture de cotonnier bien fertilisée, 12 kg P/ha suffisent.

Mil: 8-22 P, dépendant de l'intensivité de la culture. Souvent l'application de P sur les autres cultures de la rotation est déjà suffisante de P-nutrition résiduaire pour le mil, comme dans la zone sud; dans les zones nord, on note plus d'effet de P sur le mil, parce que les autres cultures de la rotation reçoivent moins de P en total. Même l'arrière effet de P après une culture d'arachide paraît faible.

Niébé: 6-13 kg P/ha. La haute dose est appliquée dans les cas de variétés améliorées ou après quelques années sans fertilisation.

Riz pluvial: En Côte d'Ivoire (Gigou) on n'a pas trouvé des réponses de P.

Riz de bas-fonds: 9 kg P/ha.

Riz irrigué: 15-35 kg P/ha, dépendant de la variété et de l'état des aménagements. Sur les sols du type Moursi (cf. annex III) avec un sol superficiel acide et les sols dégradés de Kokry, le PNT sera efficace.

Soja: 22-46 P.

Sorgho: 10-22 kg P/ha et jusqu'à 35 kg P/ha dans une culture plus intensifiée. L'arrière effet après coton est de 5-12 kg P/ha. Après l'arachide l'arrière effet est presque nulle.

2.1.3. Bilans minéraux concernant le phosphore dans quelques rotations culturales

2.1.3.1. Coton-mais-sorgho.

Le bilan minéral de cette rotation est vulnérable en phosphore, surtout pour des rendements élevés. Les réserves en P sont suffisantes, mais la disponibilité du phosphore est faible; la réserve peut tamponner cette disponibilité, dépendant de la fixation de P-engrais soluble vers des formes fixées temporairement ou vraiment occluses pour une longue période. Il semble qu'une application faible sur les céréales sera efficace si les rendements augmentent ou si la litière est enlevée. La relation entre la fertilisation N et P est toujours importante dans une telle rotation. L'enlèvement de la litière est moins grave que pour le bilan du potassium.

Avec des pertes par l'érosion de plus de 10 t/ha/an le bilan devient négatif pour le P-disponible et P-réserve. Par ailleurs les réserves en P augmentent de 2-4 kg P/ha/an avec une érosion de 2 t/ha/an.

2.1.3.2. Arachide-mil-mil.

L'érosion est moins importante dans les zones où cette rotation est appliquée, mais c'est encore le poste de perte la plus importante. La disponibilité de P est moins vulnérable que dans la rotation coton-mais-sorgho, mais avec des rendements élevés des problèmes peuvent également se présenter. Dans la pratique il y a des cas connus où on n'a pas trouvé d'arrière P; néanmoins une culture suivante de mil pousse normalement, parce que la minéralisation de P et les apports de P par les précipitations suffisent pour déposer les 3-4 kg P nécessaires pour un rendement de 700-1400 kg mil.

La disponibilité de P est faible pour le mil en cas de rendement élevé (1200-1400 kg/ha ou plus) combiné avec l'enlèvement de la paille.

Le bilan total est positif pour les deux cas d'érosion. Avec 2 t érosion/ha/an la réserve en P augmente 6-8 kg P/ha/an.

2.1.3.3. Riz irrigué.

Dans le riz irrigué il n'y a pas de pertes, sauf celles de fixation dans les sols argileux calcaires. Les sols de l'Office du Niger auront une réserve en P relativement grande, mais une culture de riz irrigué ne peut pas utiliser le P dans toute la profondeur du sol car l'enracinement est limité. Quand les rendements augmentent au-dessus 3.5 t/ha le 100 DAP ne suffiront plus et une dose de PNT ou une forme soluble de P sera nécessaire. Si la fixation de P est moindre le rendement critique sera plus haute.

2.1.4. Taux de P dans les sols maliens.

Les taux de P-assimilable et P-total dans les sols vierges du Mali-sud sont estimés avec une petite base de données. C'est pour cela que les résultats sont incertains.

Tableau 2.3.

Sol	Ecart de P-assimilable, ppm, 0-20 cm		Interprétation	Ecart de P-total, ppm, 0-20 cm		Interprétation
- 1	nd		-	nd		-
- 21	0.6-0.7		très bas	160-190		bas
- 22	0.6-0.9		très bas	70-100		très bas
- 31	0.6-0.9		très bas	70-100		très bas
- 32	1.5-1.8		très bas	100		bas - très bas
- 33	0.6-0.7		très bas	160-190		bas
- 34	1.5-1.8		très bas	100		bas - très bas
- 35	1.5-4		très bas - bas	100		bas - très bas
- 36	0.6-0.9		très bas	70-100		très bas
- 41	0.7		très bas	70		très bas
- 42	2 -4		bas	50-100		très bas
- 43	10		moyen	40-280		très bas-moyen

Le taux de P dans les sols de l'Office du Niger est:

Tableau 2.4.

Sol	P-assimilable, ppm, 0-20 cm		Interprétation	P-total, ppm, 0-20 cm		Interprétation
	Ecart	Moyen		Ecart	Moyen	
- Dian	1- 7	2.3	bas	10-190	107	bas
- Moursi	1- 8	3.8	bas	40-200	121	bas
- Danga	1-13	4.7	bas	20-160	81	très bas
- Danga-Seno	2-10	4.4	bas	50-120	65	très bas

Sol	P-assimilable, ppm, 20-40 cm		Interprétation	P-total, ppm, 20-40 cm		Interprétation
	Ecart	Moyen		Ecart	Moyen	
- Dian	0- 5	1.4	très bas	10-180	106	bas
- Moursi	1-10	3.0	bas	40-200	119	bas
- Danga	1-14	3.6	bas	10-140	80	très bas
- Danga-Seno	1-10	3.6	bas	40- 70	53	très bas

2.2. INTERPRETATIONS DES DONNEES ANALYTIQUES

2.2.1. SOL

2.2.1.1. Classification du phosphore assimilable et total dans le sol.

A Sotuba on utilise la méthode de Bray 2 avec une proportion sol-solution de 1:7. Il y a d'autres méthodes bien connues pour l'analyse de P-assimilable. Pour les sols neutres ou calcaires, moins altérés, mais pas sodiques on peut utiliser la méthode d'Olsen (NaHCO₃). Avec la méthode Olsen-Dabin (NaHCO₃ + NH₄F) il y a plus de P-fixation par Al et/ou Ca et un petit peu de Fe-phosphates sont solibilisés. La méthode Mehlich (North Carolina) (HCl + H₂SO₄) est apte pour les sols avec un CEC bas, vraiment altérés, avec peu ou pas de Ca-phosphate.

Les niveaux critiques avec quelques méthodes d'analyse dont donnés suivante:

Tableau 2.5.

	Niveaux critiques de P-assimilable, ppm, 0-20 cm				
	Très haute	Haute	Moyen	Bas	Très bas
Sotuba: Bray 2	>15/20	10/15-15/20	5/10-10/15	1/3-5/10	<1/3
Bray 1	>20/30	12/15-20/30	5/7-12/15	<5/7	-
Olsen	>15/20	10 - 15/20	4/6-10	<4/6	-
Olsen-Dabin	>20/40	12/20-20/40	<12/20	-	-
Mehlich (N.Car.)	> 8/30	7/20- 8/30	4/10- 7/20	<4/10	-

Note: Les valeurs maximales sont pour les sols sableux ou sols avec un CEC bas (<< 10 me/100 g sol).
Les valeurs minimales sont pour les sols argileux ou sols avec un CEC haut (>> 10 me/100 g sol).

P-totale	Niveaux critiques de P-totale, ppm, 0-20 cm				
	> 400	200/300-750	200-200/300	100-200	< 100
Méthodes:					
Bray 1	0.025 N HCl + 0.03 N NH ₄ F, pH 3.5, 1:10, 1 minute).				
Bray 2	0.1 N HCl + 0.03 N NH ₄ F, pH 1.8, 1:7, 1 minute).				
Olsen	0.5 M NaHCO ₃ , pH 8.5, 1:20, 30 minutes).				
Olsen-Dabin	0.5 M NaHCO ₃ + 0.5 M NH ₄ F, pH 8.5, 1:50, 1 heure).				
Mehlich (N.Car.)	0.05 N HCl + 0.025 N H ₂ SO ₄ , pH 2, 1:4, 5 minutes).				

Les niveaux critiques de méthode P-Olsen en relation avec pH et C-organique sont données au-dessous:

Tableau 2.6.

C org. (%)	(P-assimilable, ppm, 0-20 cm)																			
	0.5					1.0					2.0					3.0				
P-totale(ppm)	125					250					500					750				
pH(H ₂ O)	TH	Haut	Moyen	Bas	TB	TH	Haut	Moyen	Bas	TB	TH	Haut	Moyen	Bas	TB	TH	Haut	Moyen	Bas	TB
7.0	>46	23-46	11-22	4-10	< 4	>44	22-44	10-21	3- 9	< 3	>41	18-41	5-17	< 5	-	>38	15-38	2-14	< 2	-
6.0	>45	22-45	10-21	3- 9	< 3	>41	18-41	5-17	< 5	-	>34	10-34	<10	-	-	>27	3-27	< 3	-	-
5.0	>43	20-43	8-19	1- 7	< 1	>38	15-38	2-14	< 2	-	>27	3-27	< 3	-	-	>17	<17	-	-	-
4.0	>41	18-41	5-17	< 5	-	>34	10-34	<10	-	-	>20	<20	-	-	-	> 6	< 6	-	-	-

2.2.1.2. Sensibilité des cultures pour une déficience en P dans le sol.

Tableau 2.7.

Bray 2

Culture	LIMITATION DE DEFICIENCE mesuré comme le taux de P (en ppm) dans le sol, 0-20 cm					
	Rien		Modéré		Marginal	
Blé	>15/20		10/15 - 15/20		< 10/15	
(moyen)	> 18		13 - 18		< 13	
Canne à sucre, maïs, coton	>10/15		5/10 - 10/15		< 5/10	
(moyen)	> 13		8 - 13		< 8	
Sorgho, mil	> 7/12		4/8 - 7/12		< 4/8	
(moyen)	> 10		6 - 10		< 6	
Arachide, niébé, soja	> 5/10		2/4 - 5/10		< 2/4	
(moyen)	> 8		3 - 8		< 3	

LIMITATION DE DEFICIENCE mesuré comme le taux de P (en ppm) dans le sol, 0-20 cm

Culture	Rien	Modéré	Marginal
Riz	> 4/9	2/4 - 4/9	< 2/4
(moyen)	> 7	3 - 7	< 3

Olsen

Blé	> 7/10	5 - 7/10	< 5
Canne à sucre	> 5(/10)	< 5(/10)*	-
Mais	> 6/10	< 6/10	-
Sorgho, mil	> 7	4/5 - 7	< 4/5
Coton	> 5/9	(5) - 5/9	(< 4)
Soja (niebé)	> 6	2.5 - 6	< 2.5
Arachide	(> 9)	(< 9)	-
Riz	> 3.5/5	< 3.5/5	-

Note*: Avec 7 ppm il y a une réponse claire de P (à Seribala et Dougabougou); avec 12 ppm la réponse était moins claire sur les sols lourds.

Olsen-Dabin

Coton	> 25/30	< 25/30	-
-------	---------	---------	---

2.2.2. PLANTE

2.2.2.1. Sensibilité des cultures pour une déficience-carence en P dans la plante.

Tableau 2.8.

LIMITATION DE DEFICIENCE mesuré comme le taux de P (en %) dans la partie indiquée de la plante.

Culture	Rien	Modéré	Marginal	Partie de la plante; stade de croissance
Arachide:				
%N=3.0	> 0.20 (N/P<15)	< 0.20 (N/P>15)	-	4 ème (variétés rampants) ou 6 ème (variétés érigées) feuille au-dessus des rameaux cotyledonnaires; 30-35 JAS (variétés hâtives), 40-45 JAS (variétés tardives).
%N=3.5	> 0.225 (N/P<15.6)	< 0.225 (N/P>15.6)	-	
%N=4.0	> 0.25 (N/P<16)	< 0.25 (N/P>16)	-	
Blé	> 0.4/0.55	< 0.4/0.55	-	La feuille adulte la plus jeune; FS 2, 42 JAS.
	> 0.62	< 0.62	-	Partie aérienne; FS 2, 42 JAS.
	> 0.33/0.44	< 0.33/0.44	-	La feuille adulte la plus jeune; FS 3, 56 JAS.
	> 0.56	< 0.56	-	Partie aérienne; FS 3, tallage, 56 JAS.
	> 0.23/0.37	< 0.23/0.37	-	La feuille adulte la plus jeune; FS 4, 70 JAS.
	> 0.35	< 0.35	-	Partie aérienne; FS 4, 70 JAS.
	> 0.22/0.3	< 0.22/0.3	-	La feuille adulte la plus jeune; FS 5-6, 84 JAS.
	> 0.23	< 0.23	-	Partie aérienne; FS 5-6, 84 JAS.
	> 0.2/0.3	0.15 - 0.2/0.3	< 0.15	Partie aérienne; FS 10, épiaison.
	> 0.23	0.23 - 0.24	< 0.22	La limbe de la feuille ("leafblade"); floraison.
Canne à sucre	> 0.18/0.21	0.15/0.18 - 0.18/0.21	< 0.15/0.18	La limbe de la 3 ème feuille dénervé près d'apex ("TVD"); 2-10 MAS.

LIMITATION DE DEFICIENCE mesuré comme le taux de P (en %) dans la partie indiquée de la plante.				
Culture	Rien	Modéré	Marginal	Partie de la plante; stade de croissance
Coton	> 0.25/0.3	< 0.25	-	La feuille adulte la plus jeune près d'apex; avant la 1 ^{ère} floraison.
	> 0.31	< 0.31	-	La feuille la plus jeune près d'apex; le début de formation des bolles ("squearing?").
	> 0.33	< 0.33	-	La feuille adulte la plus jeune; la fin de formation des bolles.
	> 0.24	< 0.24	-	La feuille adulte la plus jeune; fin maturité.
Mais	> 0.20/0.25	(0.1/0.15) - 0.20/0.25	(< 0.1/0.15)	La feuille de l'épi, ou les feuilles adultes les plus jeunes ou toute partie aérienne; floraison mâle ("tasseling").
	> 0.25	0.16 - 0.24	< 0.15	La feuille de l'épi; la début de la dessiccation des soies ("silking").
Mil	> 0.20/0.22	0.16 - 0.20	< 0.16	Partie aérienne; ("4-5 weeks after clipping").
Niébé	> 0.29	< 0.24		Partie aérienne; 56 JAS.
	> 0.4	< 0.4		La feuille adulte la plus jeune; floraison.
Riz	> 0.1/0.2	0.1 - 0.2	< 0.1	La feuille paniculaire ("Y leaf blade"); tallage FS 3-5.
	> 0.18/0.2	< 0.18/0.2	-	La feuille paniculaire ("Y leaf blade"); ("panicle initiation").
	> 0.3	< 0.3	-	La feuille paniculaire ("Y leaf blade"); épiaison ("flower emergence").
Soja	> 0.2/0.25	0.2 - 0.25	< 0.2	Les feuilles adultes les plus jeunes; floraison jusqu'à le début de la formation des gousses ("prior pod set").
	> 0.3/0.35	< 0.3/0.35	-	Les feuilles adultes les plus jeunes; le début de la formation des gousses ("(early) pod set - pod fill").
Sorgho	> 0.3	0.25 - 0.3	< 0.25	Partie aérienne; stade 2, croissance végétative, 23- 39 JAS.
	> 0.21	0.1 - 0.2	< 0.1	Partie aérienne; stade 3, croissance végétative, 35 JAS.
	> 0.2/0.25	0.13 - 0.2/0.25	< 0.13	La feuille adulte la plus jeune; stade 3-5, croissance végétative, 37-56 JAS.
	> 0.2/0.3	< 0.2/0.3	-	La feuille adulte la plus jeune; floraison ("full heading"), 66-70 JAS.
	> 0.15	0.13 - 0.15	< 0.13	La feuille adulte la plus jeune; stade 7-8, après floraison ("early milky stage"), 82-97 JAS.

2.2.2.2. Sensibilité des cultures pour une toxicité en P dans la plante.

Tableau 2.9.

Culture	LIMITATION DE TOXICITE mesuré comme le taux de P (en %) dans la partie indiquée de la plante			
	Rien	Modéré	Marginal	Partie de la plante; stade de croissance
Arachide	< 0.4	0.4 - 0.5	> 0.5	Feuilles ?
Blé	< 0.45	0.45 - 0.8/1.0	> 0.8/1.0	Partie aérienne; tôt, ("early"), 2-3 feuilles.
	< 0.5	> 0.5	-	Partie aérienne; FS 10.1, épiaison ("head emergence").
	< 0.27	> 0.27	-	Partie aérienne; floraison.
	< 0.45/0.5	> 0.45/0.5	(> 0.7?)	La limbe de la feuille adulte la plus jeune; tallage, FS 3-5.
	< 0.4	> 0.4	-	La limbe de la feuille adulte la plus jeune; ("shooting").
	< 0.34	> 0.34	-	La limbe de la feuille adulte la plus jeune; floraison.
Canne à sucre	< 0.24	> 0.24	-	La 3 ^{ème} feuille dénervé près d'apex; 3-7 MAS.
	< 0.17	> 0.17	-	La 3 ^{ème} feuille dénervé près d'apex; 7-11 MAS.
	< 0.30	0.30 - 0.34	> 0.34	La 3 ^{ème} feuille dénervé près d'apex; stade ?.
Coton	-	0.2	-	La petiole de la feuille adulte la plus jeune ("petiole of youngest mature leaf, PYMB"); première fleur.
	-	0.15	-	Dito; floraison maximale.
	-	0.12	-	Dito; premier bolle ouvert.
	-	0.1	-	Dito; maturité.
	0.75	1.8	-	Grain; récolte.
Mais	< 0.5	> 0.5	-	Partie aérienne; tôt? ("early?").
	< 0.4	0.4 - 0.5	> 0.5	Partie aérienne; floraison mâle ("tasseling")?
	< 0.4	0.4 - 0.5	> 0.5	La feuille de l'épi ("ear leaf blade"); la début de la dessiccation des soies ("silking").
Mil	0.2 - 0.3	> 0.4	-	Partie aérienne; ("4-5 weeks after clipping").
Niébé	0.2 - 0.3	0.5 - 0.6	-	Paille.
Riz	< 0.9	(0.9 - 1.2)	> 1.2	Partie aérienne; 25 JAS.
	< 0.4	(0.4 - 0.8)	> 0.8	Partie aérienne; 50 JAS.
	< 0.5	(0.5 - 1.0)	> 1.0	Partie aérienne; 75 JAS.
	< 1.0	> 1.0	ou > 1.0	Paille; maturité.
Soja	< 0.54/0.66 (0.50/0.66-0.80/0.85)	> 0.80/0.85		Les feuilles adultes les plus jeunes; la début de la floraison ("early flowering").
Sorgho	< 0.6	> 0.6	-	Partie aérienne; stade 2, croissance végétative.
	< 0.5	0.5 - 1.0	> 1.0	Partie aérienne; stade 3, croissance végétative, 35 JAS.
	< 0.35	> 0.35	-	La (3 ^{ème} sous l'épi) feuille adulte la plus jeune; stade 6, floraison ?
	< 0.25	> 0.25	-	La (3 ^{ème} sous l'épi) feuille adulte la plus jeune; stade 7-8, après floraison ("early milky stage").

2.2.2.3. Interactions avec P dans la plante.

Tableau 2.10.

N/P	Culture	Rapport optimal	DRIS blé		DRIS maïs (cf. Beaufiles 1957)	
			mojen	cv %	mojen	cv %
	Blé	9.9 - 14.6				
	Arachide; rapport N/P optimal est dépendant le taux de N (%) dans la feuille:		N/P 12.74	22	P/N 0.108	33
			K/P 8.80	17	K/P 6.52	39
			S/P 0.87	22	S/P 0.812	32
					Ca/P 2.43	45
	% N = 2.0	13.3			Mg/P 1.71	69
	2.5	13.2				
	3.0	13.7				
	3.5	14.5				
	4.0	15.6				
	4.5	16.9				
K/P	Arachide	5				
	Blé	7.9 - 10				
	Canne à sucre	4.9 - 6.3				
Ca/P	Arachide	6.7 - 10				
Mg/P	Arachide	3.3				

2.3. RECOMMANDATIONS

2.3.1. Niveau BAS des apports

2.3.1.1. PAR ZONE Dans les régions sèches le phosphore est une fertilisation importante. Là l'effet du PNT est très lente et on peut attendre plus d'effet du SSP ou DAP. Si on utilise PNT il faut mélanger le PNT avec le fumier ou par placement directe sous les plantes. Pour une culture de rente il faut ajouter une forme de P-soluble (DAP, SSP), même après une dose de PNT. Dans le sud l'effet de PNT est meilleur; si le prix du PNT reste intéressant, cette forme de phosphore sera souvent être la plus économique. Même dans la zone de Koutiala-Fana (Soudan-sud) une application de phosphore soluble pendant la première année sera nécessaire sur la culture de rente.

2.3.1.2. PAR SOL - Mali-sud:

- | | |
|-----------------------------|--|
| 21. PNT, (fumure org.). | 35. PNT. |
| 22. (Fumure org. + PNT). | 36. Fumure org. (+ peu de complexe coton/céréale). |
| 31. PNT, gestion de résidu. | 41. (Fumure org. + PNT). |
| 32. (Fumure org.). | 42. PNT + fumure org. |
| 33. Fumure org., PNT. | 43. Fumure org. (peu de complet coton/céréale)(PNT). |
| 34. Fumure org. | |

- Office du Niger:

- | | |
|--------------------|-------------------------|
| Dian-normal: | Fumure organique. |
| Dian-dégradé: | PNT. |
| Moursi-alkalin: | PNT + fumure organique. |
| Moursi-normale: | dose normale de P. |
| Moursi-dégradé: | PNT. |
| Danga, Danga-Seno: | dose normale de P. |

2.3.1.3. PAR LIMITATION BASE SUR L'INTERPRETATION ANALYTIQUE ET PAR CULTURE

Taux modéré: Utilisez PNT comme une fumure de fond. Utilisez la fumure organique. Une application de P augmentera l'efficacité de l'azote disponible dans le sol.

Sorgho, mil, arachide, niébé: surtout les unités 32, 33, 35.

Arachide: surtout une application de PNT sera efficace.

Mais: surtout les unités 32, 35 dans le sud.

Soja: surtout les unités 32, 33.

Riz: surtout les unités 33, 35 dans le sud; aussi l'unité 42. Dans le riz irrigué PNT est probablement efficace seulement en cas d'un sol superficiel dégradé avec un $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) < 6.0$.

Taux marginal: Utilisez plus de PNT avec un peu de super simple ou une autre forme soluble de P. Utilisez plus de fumure organique. Ajouter le PNT dans la litière des parcs.

Coton: surtout unité 31 dans le sud; aussi les unités 32, 33, 34, 35 et 36.

Sorgho: surtout l'unité 22 dans le sud; aussi les unités 31, 34, 36, 41 et 42.

Mil: surtout les unités 22, 31, 34 et 36.

Mais: surtout l'unité 31 dans le sud; l'unités 32 et 35 dans le nord; aussi les unités 33, 34 et 36.

Arachide: surtout les unités 31, 34, 36 et 41.

Niébé: surtout les unités 31, 34 et 36.

Soja: surtout les unités 22, 31, 34, 35, 36 et 41.

Riz: surtout les unités 31 et 41; les unités 32, 33 et 35 dans la zone Soudan-sud I; l'unité 34 dans la zone Guinéen-nord II; l'unité 36 dans la zone Soudan-nord I et Guinéen-nord I.

2.3.2. Niveau HAUT des apports

2.3.2.1. PAR ZONE Le PNT est moins cher par unité de phosphore et la solubilité est faible mais avec une application de SSP ou DAP dans la première année le PNT sera efficace dans les 3 ans suivants. Dans la zone Guinée-nord les rendements potentiels des cultures comme le coton sont 6-10 % plus élevées; la fertilisation phosphatée doit être refléter cette exportation augmentée. Pour le maïs il ne semble pas des différences en efficacité de P entre la partie du nord et cela du sud. Dans le nord il faut fertiliser le mil avec un bon dose de P.

2.3.2.2. PAR SOL - Mali-sud:

21. Fumure org. ou complet coton/céréale et P dans la forme de PNT.
22. Même que sol 21, mais on peut attendre plus de réponse de la fumure organique.
31. Surtout PNT.
32. Régulièrement NPK; le P comme PNT ou simple superphosphate (SSP); la fumure organique est efficace.
33. Beaucoup de P, par exemple PNT.
34. PNT très utile (source de P et contre Al); sur les cultures de rente NPK.
35. PNT ou chaux, dépendant le prix; NPK sur les cultures de rente.
36. L'application PNT normale.
41. Un chaulage et compléter avec PNT; NPK sur les cultures de rente.
42. PNT, surtout sur les sols sableux.
43. Régulièrement P, soluble ou comme PNT.

- Office du Niger:

Dian-normal:	NPK.
Dian-dégradé:	extra PNT comme redressement; NPK.
Moursi-alcalin-fortement fixation P:	chaque année extra PNT, ou mieux simple superphosphate (SSP) ou diammoniumphosphate (DAP) si le prix est acceptable; NPK.
Moursi-normal:	NPK.
Moursi-dégradé:	extra PNT comme redressement; NPK.
Danga-normal:	normal dose de P.
Danga-dégradé:	PNT (+ matière organique?)
Danga-Seno-normal:	normal dose de P.
Danga-Seno-dégradé:	PNT.

2.3.2.3. PAR LIMITATION BASE SUR L'INTERPRETATION ANALYTIQUE ET PAR CULTURE

Taux modéré: Utilisez super simple pour avoir un effet directe. Appliquez PNT sur la culture plus efficace (maïs, arachide, niébé ?) comme une application forte. Enfouissez le PNT avec le labour.

Taux marginal: Utilisez une forte dose de PNT (300-500 kg/ha), enfouirez en profondeur avec la fumure organique et une fertilisation de K₂SO₄. Appliquer aussi une faible dose de super simple. Contrôlez le pH; si nécessaire appliquer la chaux. Introduire une culture de couverture comme Mucuna pendant une saison, semé directement après une forte dose de PNT comme redressement.

Arachide: PNT sera efficace pour son effet de P et Ca.

Maïs: Pour un rendement optimale 15-35 kg P/ha est nécessaire si le taux est modéré et 35-55 kg P/ha si le taux est marginal.

Niébé: PNT sera moins efficace que avec l'arachide.

Riz: La réserve en P est grande dans les sols de l'Office du Niger, mais avec des rendements hauts (> 4 t/ha) la fertilisation de P sera importante. Dans ces cas il faut utiliser le P-soluble pour avoir un effet direct. L'interaction N x P est à regarder. L'interaction N x P diminue si le P vient de la réserve; avec une application de P-soluble l'interaction sera plus forte. Si les rendements montent au dessus le 6 t/ha la matière organique et P sont tous les deux importants, la matière organique est nécessaire pour utiliser l'engrais plus efficacement. Sans la fumure organique le PNT est moins efficace et il faut ajouter SSP. Sur les sols dégradés-acides PNT est probablement efficace; sur les sols neutres pH(H₂O) > 6 on attend moins d'effet du PNT.

Soja: Normalement on donne 3-16 kg P; sur les sols avec un taux modéré ou marginal de P il faut appliquer 16-35 kg P/ha. Dans un rotation maïs-soja il faut appliquer le phosphore au maïs.

Tableau 3.2.

	Exportations grains/gousses en N par rendement grain/gousse (kg/ha)																				
	500			1000			1500			2000			3000			4000			5000		
	min	MOY	max	min	MOY	max	min	MOY	max	min	MOY	max	min	MOY	max	min	MOY	max	min	MOY	max
Arachide	3	4	7	4	8	12	6	11	16	9	14	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Blé	-	-	-	4	6	7	5	8	9	6	10	12	10	14	17	14	18	21	20	22	24
Coton	-	-	-	3	4	8	8	12	13	15	22	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mais	-	-	-	-	6	15	2	9	17	4	12	19	9	17	23	14	21	27	18	26	31
Mil	-	6	-	-	8	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Niébé	-	39	56	26	52	66	48	66	76	72	82	86	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Riz	-	-	-	-	3	-	-	7	-	-	9	-	-	13	-	-	16	-	-	18	-
Soja	-	-	-	-	21	-	-	27	-	32	33	38	51	56	67	79	88	-	-	-	-
Sorgho	1	2	4	2	4	7	4	7	10	7	10	13	11	14	17	15	17	19	18	20	22

Remarque: Il paraît que le niébé a un grand besoin de K pour ses graines, environs six fois que celle de l'arachide.

3.1.2. Apports du potassium

3.1.2.1. Pluie.

L'estimation de la contribution par la pluviométrie est 3-5 kg K/ha/an.

3.1.2.2. Fumure organique.

Le taux de K dans la fumure organique est estimé à 1.3 % K. Ce taux signifie une forte dose de K aux cultures.

3.1.2.3. Engrais.

Les engrais potassique communs au Mali sont:

- Sulphate de potassium K₂SO₄, avec 41 % K.
- Chlorure de potassium KCl, 33 (KCl-40) ou 50 (KCl-60) % K, moins chère que sulphate de potasse, mais pas apte aux cultures sensible au Cl (48 % Cl) (légumineuses ?).
- Complexe coton, céréale, avec 12 % K₂O (10 % K).

Pour les rendements non-élevés l'alimentation en K est souvent fourni par la réserve en K dans le sol. La fertilisation en K est surtout importante quand les rendements montent, surtout si la litière est exportée. La litière (paille, fanes, etc.) contient une grande partie de la potasse. Ils sont surtout les cultures tubercules comme manioc, pommes de terres qui ont un grand besoin en K. Une dose de K est efficace sur les cultures de rente, pas seulement pour la nutrition de K par les plantes, mais aussi pour la qualité des produits.

La fertilisation de K renforce les plantes contre la sécheresse et les attaques par les insectes; c'est pour cela que une fertilisation de K pour le mil peut être efficace dans la zone sèche.

Avec un taux haut de K-disponible les cultures prennent beaucoup de K sans vrai efficacité; dans ces cas il y a une possibilité de consommation de luxe en K.

Dans une mélange des herbes et légumineuses (par exemple un prairie amélioré) la fertilisation de K est importante, parce que la compétition pour K est trop grande pour la légumineuse; avec une bonne fertilisation-K la mélange persistera.

La relation entre la fertilisation de K et la texture du sol dépend de l'intensité de K et la capacité en K. Sur les sols sableux le besoin de K est faible pour obtenir une certain intensité de K-disponible; à l'autre côté il y a peu de capacité tampon de K. La réponse des cultures au K est souvent trouvée avec les sols sableux. C'est à dire qu'il faut appliquer une dose de K suffisante dans une façon régulière, surtout dans les zones plus humides. Sur les sols argileux le besoin de K est plus élevé que sur les sols sableux; une dose suffisante donnera assez de réserve en K. Martiné et al. (1987) ont trouvés que une fertilisation de K serait efficace sur les sols peu profonde dans les années de bonne pluviométrie; dans ces cas 33-50 kg/ha était efficace pour le coton et le maïs.

Les monocotylédons (herbes, céréales) répondent moins favorables au fertilisation de K que les dicotylédons comme la pomme de terre, les légumes (tomates). Le coton paraît moins efficace que les autres cultures d'utiliser le K du sol; c'est pour cela que une fertilisation de K sur chaque culture du coton sera efficace.

Sur une culture de riz irrigué dans le contre saison il faut appliquer 60 % de plus en K, parce que probablement les rendement potentielles soient plus hauts.

3.1.2.4. Mineralisation.

Il y a un effet de tampon entre le taux de K soluble dans la solution du sol et les réserves en K. Même les réserves en K pas encore altérés peut rendre du potassium si le taux de K dans la solution diminue. Les réserves dans les sols du Mali-sud sont mal connues, mais probablement ils ne sont pas tellement hautes, estimées à 0.5 % de K-total. Cependant cette réserve peut prévenir des carences en K pendant un longue période de quelques décades.

Un chaulage augmentera la CEC et par ce fait aussi l'effet de tamponnage de K.

3.1.2.5. Dose d'engrais appliqués.

Arachide: 0-58 kg K/ha, mais souvent on applique rien.

Blé: L'application de K est variable (40-75 kg K/ha), dépendant la texture ou le profondeur du sol.

Canne à sucre: Il y a beaucoup d'exportation en K, 65-165 kg K/ha. Dans l'Office du Niger la dose normale est 41 kg K/ha (100 kg K₂SO₄/ha). Il n'y a pas un effet clair de K, sauf dans des cultures vierges où 33 kg K/ha a donné une faible réponse. Cependant, cette réponse diminue déjà après quelques années.

Coton: 25-83 kg K/ha avec des rendements élevés. La dose vulgarisée de 150 kg/ha de la complexe coton contient 18 K. Cinq tonnes de la fumure organique (1.3 % K) suffiraient pour la nutrition de K pour le coton.

Mais: 10-83 kg K/ha, dépendant surtout du rendement. L'arrière effet après le coton est environs 7 kg K. La dose vulgarisée de 100 kg de la complexe céréale contient 10 kg K, avec 150 kg CC il y a 15 kg K. Souvent une dose de NPK est efficace sur mais étant une culture de rente.

Mil: 0-50 kg K/ha, souvent il n'y a pas de réponse; il semble que la remplacement de K exportée, 5-10 kg K/ha, est importante à longue terme, surtout si la cultivation continue pendant une longue période.

Niébé: 0-25 kg, dépendant de la variété et la texture du sol; K surtout sur les sols sableux.

Riz: 15-120 kg K, dépendant la variété. Dans l'Office du Niger on applique 50 kg K/ha.

Soja: 21-88 kg K/ha; soja a relativement un grand besoin en K.

Sorgho: Souvent on ne trouve pas une réponse au K. Avec des rendement élevés on donne 5-10 kg K/ha, mais des applications aussi jusqu'à 83 kg K sont possible.

3.1.3. Bilan minéraux concernant le potassium dans quelques cultures et rotations

3.1.3.1. Coton-mais-sorgho.

La perte plus importante est l'érosion. Le bilan est négatif dans le cas de 10 t d'érosion ou dans le cas d'exportation de la litière. Avec 2 t d'érosion annuelle le bilan est plus ou moins neutral.

Les pertes en lixiviation ne sont pas tellement graves.

Les pertes par l'exportation de la litière sont considérables; la gestion du résidu est très importante de point de vue l'alimentation potassique; même si le paysan brûle les résidus la plupart du potassium est retenu dans les sols.

Avec des rendements élevés comme montré dans le bilan, une carence en K n'est pas probable. Il faut avoir

des rendements plus élevés pour obtenir une vraie carence en K.

Pour une bonne conservation du sol et du point de vue la fertilité du sol, il faut appliquer K régulièrement pour remplacer les exportations.

3.1.3.2. Arachide-mil-mil.

Les bilans sont négatives; avec 2 t érosion il y a des pertes de 40-210 kg K/ha/3 an, c'est à dire 13-70 kg K/an ou 0.05-0.28 % de tout le potassium par an.

La litière du mil et aussi, mais moindre, les fanes de l'arachide dégagent beaucoup de K (2-5 x). Les exportations par les grains/gousses sont faibles, mais une fertilisation de K en cas d'exportation de la litière est nécessaire. Il n'y aura pas de carence en K, mais peut-être une déficience latente en K, surtout dans le mil. Avec des rendements élevés il y aura 15-69 % plus de besoin de K.

3.1.3.3. Riz irrigué.

Le bilan est négatif dans le cas d'exportation de la paille. Une source de K est l'eau d'irrigation et de la nappe. Une application de K est nécessaire avec des rendements élevés de plus de 4 tonnes.

3.1.4. Taux de K dans les sols maliens.

Le taux de K-échangeable dans les sols vierges du Mali-sud est:

Tableau 3.3.

Sol	Écart et moyen de K-échang. (me/100 g sol), 0-20 cm		K/CEC (%)	Interprétation
1	0.1			
21	0.05-0.8	0.4	4	très haut
22	0.07-0.26	0.16	4	très haut
31	0.09-0.5	0.29	4	haut
32	0.05-0.43	0.24	4	haut
33	0.06-1.0	0.53	11	très haut
34	0.05-0.20	0.12	4	haut
35	0.02-0.47	0.24	5	très haut
36	0.02-0.25	0.13	2	moyen-haut
41	0.1 -0.4	0.25	4	haut-très haut
42	0.09-0.41	0.22	3	haut
43	0.11-0.7	0.4	3	haut

Sol	Écart et moyen de K-échang. (me/100 g sol), 20-40 cm		K/CEC (%)	Interprétation
1	-			
21	0.02-0.30	0.16	3	haut
22	0.04-0.30	0.17	2	moyen
31	0.05-0.10	0.07	0.9	bas
32	0.05-0.38	0.21	3	haut
33	0.06-1.0	0.08	1.3	bas
34	0.10-0.20	0.15	5	haut-très haut
35	0.04-0.33	0.18	2.4	moyen
36	0.03-0.33	0.18	3	moyen
41	(0.1)			
42	0.02-0.41	0.19	3	haut
43	0.07-0.30	0.15	1.5	bas-moyen

Le taux de K-échangeable dans les sols de l'Office du Niger est:

Tableau 3.4.

Sol	Écart et moyen de K-échang. (me/100 g sol), 0-20 cm			K/CEC (%)	Interprétation
Dian	0.0	-0.9	0.3	2.1	moyen
Moursi	0.1	-0.5	0.3	1.5	moyen
Danga	0.0	-0.6	0.2	2.2	haut
Danga-Seno	0.1	-0.2	0.2	2.9	haut

Sol	Écart et moyen de K-échang. (me/100 g sol), 20-40 cm			K/CEC (%)	Interprétation
Dian	0.1	-0.8	0.2	0.9	bas
Moursi	0.0	-0.4	0.2	1.2	bas
Danga	0.1	-0.5	0.2	1.4	bas
Danga-Seno	0.1	-0.2	0.1	1.3	bas

3.2. INTERPRÉTATIONS DES DONNÉES ANALYTIQUES

3.2.1. SOL

3.2.1.1. Classification du potassium échangeable dans le sol.

Il y a deux méthodes de relation pour estimer les niveaux critiques de potassium dans le sol:

1. Une relation directe entre le potassium et la CEC dans la surface du sol (0-20 cm).
2. Une relation entre le potassium, le pH et le taux de C organique dans la surface du sol (0-20 cm). Dans cette relation le C organique représente la matière organique et l'argile (après Janssen et al. 1987).

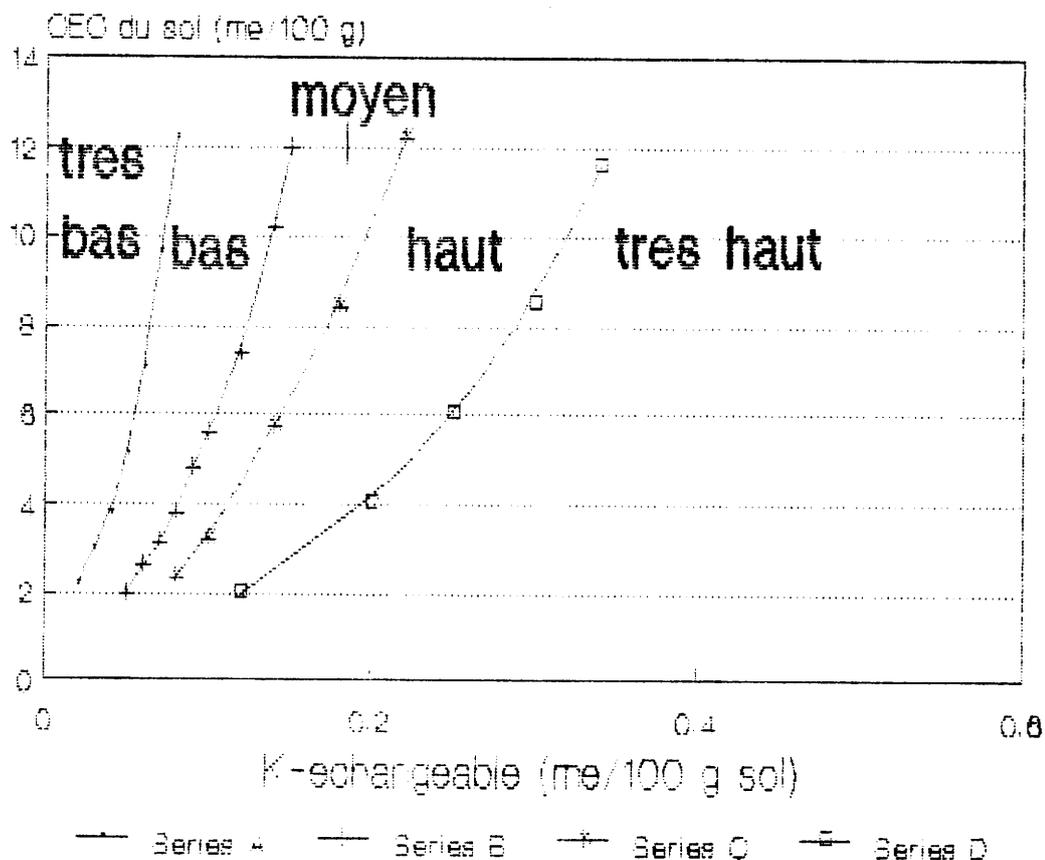
Tableau 3.5. Niveaux critiques en relation avec le CEC:

Méthode d'analyse de K: NH ₄ OAc, pH7.0	K-échangeable, 0-20 cm				
	Très haut	Haut	Moyen	Bas	Très bas
CEC (me/100 g sol, 0-20 cm)					
< 5 (sols sableux < 10/20 % argile):	> 0.15	0.1-0.15	0.07-0.1	0.04-0.07	< 0.04
5 - 10 :	> 0.4	0.2-0.4	0.1 -0.2	0.06-0.1	< 0.06
> 10 (sols argileux > 40/60 % argile):	> 0.8	0.4-0.8	0.2 -0.4	0.08-0.2	< 0.08
K-assimilable SRCVO (0.1 M HCl + 0.2 M acide oxalique):	> 0.26	0.19-0.26	0.10-0.19		<0.10
Pour les sols avec une saturation de bases de moins que 50 %, % K de CEC:	> 3	1.5 -3	<1.5		
Pour les sols avec une saturation de bases de plus que 50 %, % K de BCEC:	> 2	<2			

La figure 1 donne pour la culture du coton, l'interprétation du taux de la K-échangeable en relation avec le CEC du sol.

Fig. 1. Relation entre K-échangeable (me/100 g sol) et le CEC (me/100 g sol) avec cinq classes de disponibilité de K pour le coton.

Relation K-échang. et CEC/sol.



Seulement pour le coton

Tableau 3.6.

Niveaux critiques de K-échangeable (me/100 g sol) (0-20 cm) en relation avec pH et % C organique (Janssen et al. 1987):

		pH(H ₂ O)						
		7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0
0.5	Très haut:	>0.30	>0.23	>0.18	>0.15	>0.13	>0.11	>0.10
	Haut:	0.23-0.30	0.17-0.23	0.14-0.18	0.12-0.15	0.10-0.13	0.09-0.11	0.08-0.10
	Moyen:	0.14-0.22	0.11-0.16	0.09-0.13	0.08-0.11	0.07-0.09	0.06-0.08	0.05-0.07
	Bas:	0.06-0.13	0.04-0.10	0.04-0.08	0.03-0.07	0.03-0.06	0.02-0.05	0.02-0.04
	Très bas:	<0.06	<0.04	<0.04	<0.03	<0.03	<0.02	<0.02
1.0	Très haut:	>0.31	>0.23	>0.19	>0.16	>0.13	>0.12	>0.10
	Haut:	0.24-0.31	0.18-0.23	0.15-0.19	0.14-0.16	0.11-0.13	0.09-0.12	0.09-0.10
	Moyen:	0.15-0.23	0.11-0.17	0.09-0.14	0.08-0.13	0.07-0.10	0.06-0.08	0.06-0.08
	Bas:	0.07-0.14	0.05-0.10	0.04-0.08	0.03-0.07	0.03-0.06	0.02-0.05	0.02-0.05
	Très bas:	<0.07	<0.05	<0.04	<0.03	<0.03	<0.02	<0.02

		pH(H ₂ O)						
		7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0
<u>C org (%)</u>								
2.0	Très haut:	>0.32	>0.24	>0.19	>0.16	>0.14	>0.12	>0.11
	Haut:	0.25-0.32	0.19-0.24	0.15-0.19	0.13-0.16	0.11-0.14	0.10-0.12	0.09-0.11
	Moyen:	0.16-0.24	0.12-0.18	0.10-0.14	0.09-0.12	0.07-0.10	0.07-0.09	0.06-0.08
	Bas:	0.08-0.15	0.06-0.11	0.05-0.09	0.04-0.08	0.03-0.06	0.03-0.06	0.03-0.05
	Très bas:	<0.08	<0.06	<0.05	<0.04	<0.03	<0.03	<0.03
3.0	Très haut:	>0.34	>0.25	>0.20	>0.17	>0.14	>0.13	>0.11
	Haut:	0.26-0.34	0.20-0.25	0.16-0.20	0.13-0.17	0.12-0.14	0.10-0.13	0.09-0.11
	Moyen:	0.17-0.25	0.13-0.19	0.11-0.15	0.09-0.12	0.08-0.11	0.07-0.09	0.06-0.08
	Bas:	0.09-0.16	0.07-0.12	0.05-0.10	0.04-0.08	0.04-0.07	0.03-0.06	0.03-0.05
	Très bas:	<0.09	<0.07	<0.05	<0.04	<0.04	<0.03	<0.03

3.2.1.2. Sensibilité des cultures pour une déficience-carence en K dans le sol.

Tableau 3.7.

LIMITATION DE DEFICIENCE mesuré comme le taux de K (en % NH₄OAc, pH 7) dans le sol 0-20 cm. spécifié par CRC ou texture du sol.

Culture	Rien	Modéré	Marginal	Grave	Très grave
Mil	> 0.06	< 0.06	-	-	-
Sorgho	> 0.15	0.10- 0.15	< 0.10	-	-
Riz	> 0.2	0.1 - 0.2	0.04- 0.1	< 0.04	-
Blé	> 0.22/0.26	0.1 - 0.22/0.26	< 0.1	-	-
Mais:					
CEC <5	> 0.12	0.08- 0.12	0.05- 0.08	0.03- 0.05	< 0.03
CEC 5-10	> 0.27	0.12- 0.27	0.08- 0.12	0.04- 0.08	< 0.04
CEC >10	> 0.54	0.26- 0.54	0.12- 0.26	0.05- 0.12	< 0.05
Canne à sucre:					
CEC <5	> 0.15/0.20	0.09- 0.18	0.05- 0.09	< 0.05	-
CEC 5-10	> 0.20/0.25	0.12- 0.2	0.08- 0.12	< 0.08	-
CEC >10	> 0.30/0.5	0.2 - 0.3*	0.1 - 0.2**	< 0.1	-
		* + K > 2 % de ECEC	** + K > 2 % de ECEC		
Arachide	> 0.14/0.2	0.06/0.1- 0.14/0.2	< 0.06/0.1	-	-
Soja:					
CEC <5	> 0.12	< 0.12	(incertain)		
CEC 5-10	(>0.2)	(< 0.2)	(incertain)		
CEC >10	> 0.4	< 0.4	(incertain)		
Coton, niébé:					
CEC <5	> 0.15	0.1 - 0.15	0.07- 0.1	0.04- 0.07	< 0.04
CEC 5-10	> 0.4	0.2 - 0.4	0.1 - 0.2	0.06- 0.1	< 0.06
CEC >10	> 0.8	0.4 - 0.8	0.2 - 0.4	0.08- 0.2	< 0.08

3.2.1.3. Le rapport K/Mg dans le sol.

Le rapport K/Mg ou Mg/K est souvent plus important que les rapports entre les autres éléments. Les sensibilités tentatives entre les cultures sont données comme suivant:

Tableau 3.8.

LIMITATION DE DEFICIENCE OU IMBALANCE comme mesuré par le rapport K/Mg ou Mg/K (0-20 cm)

Culture	K/Mg			Mg/K		
	Rien	Modéré	Marginal	Rien	Modéré	Marginal
Arachide	(0.05/0.2-5)	(<0.05/0.2) (>5)	- -	(0.2-5/20)	(<0.2) (>5/20)	- -
Sorgho	(0.2/0.25-2)	(<0.2/0.25) (>2)	- -	(0.5-4:5)	(<0.5) (>4/5)	- -
Niébé	(0.2/0.25-1.5)	(<0.2/0.25) (>1.5)	- -	(0.7-4/5)	(<0.7) (>4/5)	- -
Riz	(0.2/0.5-2)	(<0.2/0.5) (>2)	- -	(0.5-2/5)	(<0.5) (>2/5)	- -
Mil	(>0.2?)	?	-	(<5?)	?	-
Blé	(>0.2?)	?	-	(<5?)	?	-
Mais	(0.5-1.5)	(0.25-0.5/1.2) (1.5-2)	(<0.25) (>2)	(0.7-2)	(0.5-0.7) (0.8/2-4)	(<0.5) (>4)
Canne à sucre	0.13-0.2(/1)	(<0.05?) (>1)	- -	(1)-7.7	(<1) (>20?)	- -
Soja	<0.5/(0.8?)	>0.5/(0.8?)	-	>1.2/2	<1.2/2	-
Coton	0.04-0.33	<0.04 >0.33	- -	3-25	<3 >25	- -

/ Ecart entre variétés, localités ou des autres circonstances.
 () ou ? Données incertaines.

3.2.1.4. Le rapport Ca/K dans le sol.

Il n'y a pas beaucoup des données disponibles sur le rapport Ca/K. Les seules données trouvées sont:

Tableau 3.9.

Limitation:	Ca/K		K/Ca	
	Rien	Modéré	Rien	Modéré
Arachide	>3.3	<3.3	<0.3	>0.3
Canne à sucre (3.8-5.6)?	-	-	-	-

Les sensibilités des cultures sont tentativement données comme suivantes:

Tableau 3.10.

	(Ca, K interchangeable NH ₄ OAc)					
	Ratio me Ca/me K par 100 g sol, 0-20 cm					
	Trop haut	Très haut	Haut	Moyen	Bas	Très bas
<u>Niveaux critiques:</u>	> 17	10-17	4-10	2-4	0.5-2	< 0.5
Arachide	a	a	b	c	d	e
Canne à sucre	b	a	a	b	c	d
Coton, maïs	b	a	a	a	b	c
Mil, niébé, sorgho	a	a	a	a	b	c
Riz	a	a	a	a	a	b

- Explication:
- a. Pas de problème.
 - b. Un problème de déséquilibre entre les éléments nutritifs est incertain, mais possible.
 - c. Un problème de déséquilibre entre les éléments nutritifs est prévu.
 - d. Problème grave de déséquilibre entre les éléments nutritifs.
 - e. Problème très grave de déséquilibre entre les éléments nutritifs.

3.2.2. PLANTE

3.2.2.1. Sensibilité des cultures pour une déficience-carence en K dans la plante.

Tableau 3.11.

Culture	LIMITATION DE DEFICIENCE mesuré comme le taux de K (en %) dans la partie indiquée de la plante			Partie de la plante; stade de croissance
	Rien	Modéré	Marginal	
Arachide	>0.6/0.9	<0.6/0.9	<0.6	4 eme feuille au-dessus des rameaux cotylédonnaires des variétés rampants; variétés hâtives 30-35 JAS, variétés tardives 40-45 JAS.
	>0.75/1.1	<0.75/1.1	<0.75	6 eme feuille au-dessus des rameaux cotylédonnaires des variétés érigées; variétés hâtives 30-35 JAS, variétés tardives 40-45 JAS.
	>0.95/1.3	<0.95/1.3	<0.95	8 eme feuille au-dessus des rameaux cotylédonnaires; variétés hâtives 30-35 JAS, variétés tardives 40-45 JAS.
	>1.5	<1.5	-	Les feuilles adultes les plus jeunes; avant floraison.
Blé	>2.2/2.4	1.9/2.0-2.2/2.4	1.6-1.9/2.0	Les feuilles adultes les plus jeunes; tallage.
	>3.5	3.0-3.5	<3.0	Partie aérienne; tallage.
	>2.3/3.4	2.1/2.9-2.3/3.4	<2.0/2.8	La limbe d'une feuille adulte la plus jeune; tallage jusqu'à floraison.
	>1.5/1.8	1.25/1.3-1.5/1.8	<1.25/1.3	Partie aérienne; épiaison.
Canne à sucre	>0.9/1.3 * * moyenne 1.1	0.9/1.1-1.0/1.3	<0.9/1.1	La 3eme feuille dénervé près d'apex ("top visible dewlap, TVD"); 4-10 MAP.
	>1.0/1.7	1.0-1.7	<1.0	Les 3eme + 4eme feuilles (dénervés) adultes près d'apex; 4-10 MAP.
	>1.6/1.8	<1.6/1.8	(1.2)	Les limbes des feuilles 3-6 ("blades 3-6"); 4-6 MAP.
	>1.0	0.8-1.0	<0.8	Une partie de la tige ("entre-noeuds 8-10"); 4-10 MAP.
Coton	>(0.9)/1.5	(0.5)-(0.9)/1.5	(<0.5)	Les feuilles adultes les plus jeunes près d'apex; premier (- maximum) floraison. Souvent le valeur en K dans les parties de la cotonnier est trop variable pour l'interprétation.
Mais	>1.7	1.5-1.7	<1.5	Les feuilles adultes les plus jeunes; floraison mâle.
	>2.0	<2.0	-	La feuille sous la feuille d'épi; floraison mâle.
	>1.7	1.3-1.7	<1.3	La feuille de l'épi; floraison mâle jusqu'au début de la dessiccation des soies.
	>1.0/1.3	<1.0/1.3	-	6 eme feuille de base; floraison jusqu'au début de la dessiccation des soies.
	>1.7/2.0	<(1.5)1.7/2.0	-	La feuille en face et sous la feuille de l'épi; la début de la dessiccation des soies.
Mil	>2.3	1.6-2.0	<1.5	Partie aérienne; ("4-5 weeks after clipping").
Niébé	(>0.5/0.7)	(<0.5/0.7)	-	Feuilles ?; stade ?
Riz	>1.0/(1.5)	<1.0/(1.5)	-	Feuille paniculaire ? ("Y leaf blade"); tallage maximale.
	>1.0	<1.0	-	Paille; maturité.
Soja	>2.2/3.0	<2.2/3.0	-	Les feuilles adultes les plus jeunes près d'apex; floraison.
	>1.7/2.2(2.5)	1.5-1.7/2.2(2.5)	<1.5	Les feuilles adultes les plus jeunes près d'apex; formation des gousses.

Culture	LIMITATION DE DERICIENCE mesuré comme le taux de K (en %) dans la partie indiquée de la plante			Partie de la plante; stade de croissance
	Rien	Modéré	Marginal	
Sorgho	>3.0	2.5-3.0	<2.5	Partie aérienne; stade 2, 23-39 JAS.
	>2.5	1.5/1.6-2.5	<1.5/1.6	Partie aérienne; stade 3, croissance vegetative, "35 JAS.
	>2.0	1.5-2.0	<1.5	La (3 ^{eme}) feuille adulte la plus jeune; stade 3-5, 37-56 JAS.
	>1.4	(<1.4)	-	La (3 ^{eme}) feuille adulte la plus jeune; stade 6, floraison, 66-70 JAS.
	>1.0	(<1.0)	-	La (3 ^{eme}) feuille adulte la plus jeune; stade 7-8, 82-97 JAS.

- / Ecart entre les variétés, localités ou des autres circonstances.
- () Données incertains.
- JAS Jours après semis.
- MAS Mois après semis.

3.2.2.2. Sensibilité des cultures pour une toxicité en K dans la plante.

Tableau 3.12.

Culture	LIMITATION DE TOXICITE comme mesuré par le taux de K (en %) dans la partie indiquée de la plante			Partie de la plante; stade de croissance
	Rien	Modéré	Marginal	
Arachide	<3.0	3.0-3.5	>3.5	Feuille ?; stade ?
Blé	<4.2	>4.2	-	La limbe de la feuille ("leafblade"); tallage.
	<3.6	>3.6	-	La limbe de la feuille; ("shooting").
	<3.0	>3.0	-	Partie aérienne; épiaison, FS 10.1 ("head emergence").
	<3.2	>3.2	-	La limbe de la feuille; floraison.
Canne à sucre	<1.45/1.6	1.45/1.6-1.7/2.2	>1.7/2.2	3 ^{eme} feuille dénervé; 5-7 MAP.
Coton	Les niveaux critiques dans les pétioles dépendent de l'âge de la plante et le niveau de la fertilité du sol, comme montré suivante: Fertilité du sol - haute: le taux descend de 6.0 (âge 2 mois) vers 3.0 (âge 4-5 mois). basse: le taux descend de 4.5 (âge 2 mois) vers 1.0 (âge 4-5 mois).			
Mais	<3.0	3.0-5.5	>5.5	Feuilles ?; stade ?
	<2.25	2.25-2.5	>2.5	La feuille de l'épi; le début de la dessiccation des soies.
Mil	<3.8	>4.5	-	Partie aérienne; ("4-5 weeks after clipping").
Niébé	Pas des données disponibles.			
Riz	<2.7	>2.7	-	?;?
Soja	<1.8	1.8-2.5	>2.5	(Feuille ?; avant la formation gousses?).
Sorgho	<4.0	>4.0	-	Partie aérienne; stage 3, croissance vegetative, "35 JAS.

3.2.2.3. Interactions avec K dans la plante.

Tableau 3.13.

Culture	Rapport K/P optimale	DRIS, blé		DRIS, maïs (cf. Beaufiles 1957)	
			Moyen cv%		Moyen cv%
Arachide	5				
Canne à sucre	4.9 - 6.3	N/K	1.45 20	N/K	1.74 45
Blé	7.9 - 10	K/P	8.80 17	K/P	6.52 39
		K/S ou S/K	10.10 25	S/K	0.123 28
				K/Ca	3.31 59
				K/Mg	7.73 28

3.3. RECOMMANDATIONS

3.3.1. Niveau BAS des apports

3.3.1.1. PAR ZONE La fertilisation en K est plus importante dans le sud que le nord sec.

3.3.1.2. PAR SOL - Mali-sud:

21. (Fumure organique).
22. (Fumure organique).
31. Gestion de résidu.
32. (Fumure organique).
33. Fumure organique.
34. Fumure organique.
35. -
36. Fumure organique, peu du complexe coton/céréale.
41. (Fumure organique).
42. Fumure organique.
43. Fumure organique, (peu du complexe coton/céréale).

- Office du Niger:

- Dian: Fumure organique; paille enfouissement.
 Moursi: Fumure organique; paille enfouissement.
 Danga: Fumure organique; paille enfouissement.
 Danga-Seno: Fumure organique; paille enfouissement.

3.3.1.3. PAR LIMITATION BASE SUR L'INTERPRETATION ANALYTIQUE ET PAR CULTURE

Taux modéré: C'est important de garder (non-exportation) les résidus des champs ou recyclage des résidus par la fumure organique.

Soja: surtout sur le sol 33.

Taux marginal: Application de K dans la forme de NPK sur la culture de rente; utilisez la fumure organique.

Taux grave: Appliquez une forte dose de la fumure organique comme un redressement. Apportez la litière disponible.

3.3.2. Niveau HAUT des apports

3.3.2.1. PAR ZONE Dans le sud il y a plus de pertes par la lixiviation et l'érosion et c'est pour cela que dans le sud on peut augmenter la dose de K, par exemple sur le maïs. Une fractionnement de K n'est pas nécessaire (sauf pour les pommes de terres).

3.3.2.2. PAR SOL - Mali-sud:

21. Peu de K (FO, peu de complexe coton/céréale)
22. Voir 21; plus de réponse à la fumure organique.
31. Après l'application du PNT, surtout N+K.
32. Régulièrement NPK; aussi de la fumure organique.
33. Beaucoup de K nécessaire.
34. NPK sur les cultures de rente.
35. NPK sur les cultures de rente.
36. Après l'application du PNT, application de K, si possible.
41. NPK sur les cultures de rente.
42. Application de K si possible.
43. Régulièrement NPK.

- Office du Niger:

- Dian: NPK; paille enfouissement.
Moursi: NPK; paille enfouissement.
Danga: paille enfouissement.
Danga-Seno: paille enfouissement.

3.3.2.3. PAR LIMITATION BASE SUR L'INTERPRETATION ANALYTIQUE

Taux modéré: La gestion de résidu est importante. Utilisez NPK-engrais sur la culture de rente. Si les rendements sont élevés plus de K est nécessaire (utilisez KCl ou K₂SO₄); étudiez le rapport Mg/K dans le sol.

Taux marginal: Remplacez les exportations de K chaque année sur les légumineuses et les céréales. Évitez trop de lessivage dans le sol par les rotations avec des cultures à enracinement profonde (comme soja). Appliquez la fumure organique pour améliorer le taux de K et la CEC du sol.

Taux grave: Appliquez un redressement de K (KCl, K₂SO₄ plus une forte dose de la fumure organique).

4. CALCIUM.

4.1. LE CALCIUM DANS LES SYSTEMES DE CULTURE

Normalement la plupart des sols maliens ont une réserve en Ca suffisante. Cette réserve consiste de Ca échangeable et non-échangeable. Une vraie carence en Ca n'a pas encore trouvée au Mali, mais dans les sols très acides des zones humides il faut assurer un certain taux de Ca pour les cultures sensibles comme l'arachide.

Les pertes normales de lixiviation et l'érosion peuvent être considérables et sous telles conditions un remplacement de Ca exporté est recommandable. Dans l'agriculture durable sur ces sols il faut approvisionner le calcium à un certain moment dans la système de culture, soit par un chaulage, soit par une application régulière de la fumier (en effet un type de recyclage dans le terroir), ou une application d'engrais contenant le calcium (comme phosphate naturel de Tilemsi (PNT) ou simple superphosphate (SSP)).

4.1.1. Pertes de calcium

4.1.1.1. Erosion.

Les pertes en Ca par l'érosion sont surtout des pertes de Ca de réserve, qui cause des problèmes de dégradation à la longue terme.

4.1.1.2. Lixiviation.

Les pertes par lixiviation par contraire sont des pertes actuels et de l'avenir. Cettes pertes peuvent être très hautes sous les conditions des sols sableux dans une zone humide. Le drainage verticale, surtout avec une fertilisation de NH₄-N, augmente la lixiviation de Ca et c'est le facteur principale de l'acidification des sols. Les cations bivalent comme Ca (et Mg) sont remplacé à la complexe absorbante par un cation monovalent comme le NH₄. Même dans la zone arachidière les pertes en Ca par la lixiviation sont considérables.

4.1.1.3. Exportation par les cultures

Tableau 4.1.

Culture	Exportations totales en Ca par rendement grain/gousse/canne (kg/ha)																				
	500			1000			1500			2000			3000			4000			5000		
	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max
Arachide	5	10	16	6	11	21	8	16	28	11	23	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Blé	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	10	10	8	11	15	10	15	20	13	19	24
Coton	-	-	-	4	10	19	7	16	25	11	21	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mais	1	6	12	3	8	14	4	10	16	6	12	18	11	16	21	15	20	25	19	24	28
Mil	-	5	-	9	12	22	13	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Niébé	-	-	-	(55)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Riz	-	-	-	2	4	7	4	6	9	6	8	10	8	11	13	12	14	16	16	18	19
Soja	-	-	-	-	10	-	-	26	-	-	42	-	-	72	-	-	89	-	-	-	-
Sorgho	-	3	-	8	10	14	12	14	19	15	18	22	20	22	25	-	25	-	-	28	-
	<u>50.000</u>			<u>75.000</u>			<u>100.000</u>			<u>125.000</u>			<u>150.000</u>								
Canne à sucre	-	22	-	-	27	-	-	32	-	-	38	-	-	44	-	-	-	-	-	-	-

Culture	Exportations grains/gousses en Ca par rendement grain/gousse (kg/ha)																				
	500			1000			1500			2000			3000			4000			5000		
	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max
Arachide	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Blé	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coton	-	-	-	-	1	-	1	2	4	3	5	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mais	-	1	2	-	1	3	-	2	4	-	2	5	1	3	7	1	4	9	1	5	10
Mil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Niébé	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Riz	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	2	-	3	-	-	-	3	-
Soja	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	9	-	-	18	-	-	27	-	-	-	-
Sorgho	1	2	-	1	2	4	1	2	4	1	2	5	1	3	6	2	3	7	2	4	9

Remarque: Le besoin en Ca de soja semble plus élevé que les autres cultures.

4.1.2. Apports du calcium

4.1.2.1. Pluie.

Les estimations des intrants de Ca par la pluviométrie sont entre 17 et 26 kg/ha/an (Pieri 1985, 1989; Roose 1981). Surtout le taux de Ca dans la poussière est important.

4.1.2.2. Mineralisation, échange.

La quantité de Ca disponible pour les plantes est calculée sur base de Ca-échangeable. Ce calcium n'est pas vraiment mineralisé, mais une partie est disponible par échange au complexe absorbant (CEC) avec des autres éléments nutritifs. Le taux de calcium libre sera tamponné par le taux de calcium sur le complexe.

4.1.2.3. Fumure organique.

Le taux de Ca dans la fumure organique est environ 1 %.

4.1.2.4. Engrais, chaux, chaulage. Les types d'engrais et de la chaux avec un taux de calcium au Mali sont:

- Simple superphosphate (SSP) avec 13-20 % Ca.
- Phosphate naturel de Tilemsi (PNT) avec 35-45 % CaO, la plupart dans une forme moins soluble.
- Gypse (CaSO₄) avec 25 % CaO (soluble).
- Chaux de composition variable (Kayes-UCEMA) ou des nouvelles sources de Hombari, Fanina-Dioila et possiblement des autres; souvent le taux se trouve entre 50 et 100 % CaCO₃.

L'application de la chaux a l'intention d'augmenter le pH par enlever les effets négatives de l'acidité du sol (voir le chapitre de l'acidité et la toxicité d'aluminium). A la même temps le chaulage apporte une application forte de calcium. Le calcium peut renforcer la structure du sol en surface et améliorer les conditions chimiques-biologiques de la vie animale et végétale dans le sol. Il y en a des sols très dégradés dans les zones humides, qui pourraient montrer une carence absolue en Ca. Dans ces cas le chaulage sert comme une fertilisation de Ca. Dans la même façon un type de chaux dolomitique donne une fertilisation de Ca et Mg.

4.1.2.5. Doses appliquées

Arachide: L'application vulgarisée de 65-75 SSP est une fertilisation de P-Ca-S. Le calcium est important pour la formation des gousses.

4.1.3. Bilan minéraux concernant le calcium dans quelques rotations culturales.

4.1.3.1. Coton-mais-sorgho et arachide-mil-mil.

Il n'y a pas beaucoup de différences entre les deux bilans. Les différences se trouvent dans l'apport de la fumure organique, de l'engrais et les exportations de Ca par la culture (sans ou avec la litière). En ce qui concerne la litière, l'exportation de Ca dans la paille et les fanes est de l'ordre de 6-10 kg/ha/an pour le maïs ou le sorgho et 8-18 pour l'arachide ou le mil. Avec des rendements élevés l'exportation en Ca dans la litière est plus haut dans la rotation arachide-mil-mil.

Les pertes en Ca sous 2 t/ha/an d'érosion sont 30-50 kg Ca/ha/3 ans, c'est à dire 10-17 kg Ca/ha/an dans le bilan coton-mais-sorgho. Dans l'autre bilan il y a 10-65 kg Ca/ha des pertes par 3 ans, donc 3-22 kg Ca/ha/an. Pour les deux bilans ces pertes annuelles s'élèvent à 0.2-0.3 % par an.

4.1.3.2. Riz irrigué.

Le bilan pour un sol de type Dian-Moursi il y a un taux haut de Ca-échangeable. Le bilan de Ca est positif, surtout par l'importation de Ca par l'eau (l'irrigation, la nappe et les pluies).

4.1.4. Le taux de calcium dans les sols maliens.

Le taux en calcium dans les sols vierges du Mali-sud est donné dans le tableau suivant:

Tableau 4.3.

Sol	Ecart et moyen en me Ca/100 g. 0-20 cm		Ca/CEC (%)	Ca/ECRC (%)	Interprétation
- 1	(2)		(25)	(80)	(moyen-haut)
- 21	2 -12	7	70	73	très haut
- 22	1.7- 5.1	3.4	85?	77	haut-très haut
- 31	1.0- 3.4	2.2	31	52	haut
- 32	1.0- 5.6	3.3	57	67	haut-très haut
- 33	0.4- 1.0	0.7	(15)	38	moyen
- 34	0.7- 3.3	2.0	83?	68	haut-très haut
- 35	0.3- 5.3	2.8	63	68	haut-très haut
- 36	0.3- 7.9	4.1	91?	80	très haut
- 41	0.4- 3.0	1.7	30	43	haut
- 42	0.6- 4.5	2.7	?	71	haut-très haut
- 43	1.8-11.8	5.7	?	67	très haut

Sol	Ecart et moyen en me Ca/100 g. 20-40 cm		Ca/CEC (%)	Ca/ECRC (%)	Interprétation
- 1	-		-	-	-
- 21	0.2- 2.3	1.2	25	66	moyen
- 22	0.5- 2.4	1.4	21	44	moyen
- 31	0.8- 2.1	1.4	17	42	moyen
- 32	0.4- 3.6	2.0	31	58	haut
- 33	0.1- 1.3	0.7	(11)	46	(bas-)moyen
- 34	0.8- 2.5	1.6	61?	59	haut
- 35	0.5- 3.0	1.7	22	56	moyen-haut
- 36	0.4- 4.4	2.4	variable	61	haut
- 41	0.3- 0.7	0.5	8	50	bas
- 42	0.1- 4.5	2.1	?	77	haut
- 43	1 -10	4.7	?	63	très haut

Remarque: Surtout le sol 33 a besoin d'une application de Ca ou un chaulage régulier. Le sol du type 41 demande une fertilisation de Ca à longue terme. Pour une production durable, surtout avec des cultures de rente.

Le taux de calcium dans les sols de l'Office du Niger est:

Tableau 4.4.

Sol	Ecart et moyen en me Ca/100 g. 0-20 cm		Ca/CEC (%)	Ca/ECRC (%)	Interprétation
Dian	1 - 16	6.7	45	58	très haut
Moursi	3 - 18	10.2	51	64	très haut
Danga	1 - 14	5.0	54	64	très haut
Danga-Seno	1 - 6	2.8	41	62	haut

Sol	Ecart et moyen en me Ca/100 g. 20-40 cm		Ca/CEC (%)	Ca/ECRC (%)	Interprétation
Dian	1 - 17	8.3	51	64	très haut
Moursi	1 - 20	10.8	50	65	très haut
Danga	1 - 18	6.0	41	68	très haut
Danga-Seno	2 - 4	2.6	33	59	haut

4.2. INTERPRETATIONS DES DONNEES ANALYTIQUES

4.2.1. SOL

4.2.1.1. Classification de calcium échangeable dans le sol.

La classification du taux de calcium échangeable, à 0-20 cm de profondeur, mesuré comme échangeable (me/100 g sol), ou Ca/CEC (mesuré avec NH₄OAc, pH7) ou comme Ca/ECCEC (calculé comme somme de cations + Al) est comme suivante:

Tableau 4.5.

	<u>Très haut</u>	<u>Haut</u>	<u>Moyen</u>	<u>Bas</u>	<u>Très bas</u>
Calcium échangeable (me/100 g):	> 3.5	1.5-3.5	0.5-1.4	0.15-0.4	< 0.15
Ca/CEC (%)	> 40	25-40	15-25	< 15	?
Ca/ECCEC (%)	> 15?	10-15	-10	?	?

4.2.1.2. Sensibilité des cultures pour une déficience-carence en Ca dans le sol.

Tableau 4.6.

Culture	<u>LIMITATION DE DEFICIENCE comme mesuré par Ca-échangeable (me/100g sol, NH₄OAc, pH7), 0-20 cm</u>			Remarques
	<u>Rien</u>	<u>Modéré</u>	<u>Marginal</u>	
Arachide	>0.6/2.0	(0.5/1.0)-0.6/2.0	(<0.5/1.0)	Variétés à gousse large sont les plus sensibles.
Blé	(>0.5)	(0.15-0.5)*	(<0.15)	Incertain, pas assez de données; * le niveau critique pour le sous-sol est 0.1 me/100 g sol).
Canne à sucre	>1.0(/3.5)	0.7-1.0(/3.5)	<0.7	Incertain, pas beaucoup de données.
Coton	>1.0	(0.15/0.5)-1.0	(<0.15/0.5)	-
Mais	>2.3/4.4	0.9/1.8-2.3/4.4	<0.9/1.8	-
Mil	(>0.5/2)	(0.15/0.5-0.5/2)	(<0.15/0.5)	Incertain, pas assez de données.
Niébé	(>0.5/2)	(0.15/0.5-0.5/2)	(<0.15/0.5)	Incertain, pas assez de données.
Riz	(>0.5)	(0.15-0.5)	(<0.15)	Incertain, pas assez de données.
Soja	(>0.5/2)	(0.15/0.5-0.5/2)	(<0.15/0.5)	Incertain, pas assez de données.
Sorgho	(>0.5/2)	(0.15/0.5-0.5/2)	(<0.15/0.5)	Incertain, pas assez de données.

Tableau 4.7.

Culture	LIMITATION comme mesuré par Ca/CEC (%)			LIMITATION comme mesuré par Ca/ECRC (%)			
	Rien	Modéré	Marginal	Rien	Modéré	Marginal	Très def.
Canne à sucre	>12	<12					
Soja	>20	<20					
Niébé	(>26)	(<26)					
Coton	>30/40	<30/40		>12	<12		
Arachide	>42	23-42	<23				
Mais				>83/95	40/63-83/89	27	9

() ou ?: incertain

/ écart entre variétés, localités ou des autres circonstances.

4.2.1.3. Interactions dans le sol.

4.2.1.3.1. Ca/Mg dans le sol.

Le rapport Ca/Mg n'est pas important si Ca > Mg ou si Mg-échangeable > 0.4 me/100 g sol. Alors le rapport sera effective dans les sols avec un faible taux de Ca et Mg; c'est à dire si Ca < 0.4 et Mg < 0.4 me/100 g sol et Ca < Mg.

Tableau 4.8. Sensibilité des cultures pour une imbalance du rapport Ca/Mg dans le sol.

	(Ca, Mg interchangeable NH4OAc)			
	Ratio me Ca/me Mg par 100 g sol. 0-20 cm			
	Haut	Moyen	Bas	Très bas
<u>Niveaux critiques:</u>	>1	0.5-1	0.2-0.4	< 0.2
Canne à sucre	a	b	c	d
Mais, niébé	a	a	b	c
Arachide, coton, nil, riz, sorgho	a	a	a	b

- Explication:
- Pas de problème.
 - Un problème de déséquilibre entre les éléments nutritifs est incertain, mais possible.
 - Un problème de déséquilibre entre les éléments nutritifs est prévu.
 - Problème grave de déséquilibre entre les éléments nutritifs.

4.2.1.3.2. Ca/K dans le sol.

Il y a des données de sol disponibles concernant le Mali-sud, comme suivant:

Tableau 4.9.

Sol	Ca/K, 0-20 cm	Ca/K, 20-40 cm
21	-	8
22	21	8
31	8	20
32	14	10
33	1.3	9
34	17	11
35	12	9
36	32	13
41	7	-
42	9-21	10-11
43	15-18	25-36

Remarques: - sol 33: Ca/K trop bas; un chaulage est nécessaire.
 - sol 36: une application de K est nécessaire pour diminuer le rapport Ca/K.
 - Sols 31, 41 et 42(-argileux): un chaulage légère sera utile.

Il n'y a pas beaucoup des données disponibles sur la sensibilité des cultures pour le rapport Ca/K. Les seules données trouvés sont:

Tableau 4.10.

Limitation:	Ca/K		K/Ca	
	Rien	Modéré	Rien	Modéré
Arachide	>3.3	<3.3	<0.3	>0.3
Canne à sucre (3.8-5.6)?	-	-	-	-

Tableau 4.11. Sensibilité (provisoire) des cultures pour une imbalance de la rapport Ca/K dans le sol.

	(Ca, K interchangeable NH ₄ OAc)					
	Ratio me Ca/me K par 100 g sol, 0-20 cm					
	Trop haut	Très haut	Haut	Moyen	Bas	Très bas
<u>Niveaux critiques:</u>	> 17	10-17	4-10	2-4	0.5-2	< 0.5
Arachide	a	a	b	c	d	e
Canne à sucre	b	a	a	b	c	d
Coton, maïs	b	a	a	a	b	c
Mil, niébé, sorgho	a	a	a	a	b	c
Riz	a	a	a	a	a	b

Explication: a. Pas de problème.
 b. Un problème de déséquilibre entre les éléments nutritifs est incertain, mais possible.
 c. Un problème de déséquilibre entre les éléments nutritifs est prévu.
 d. Problème grave de déséquilibre entre les éléments nutritifs.
 e. Problème très grave de déséquilibre entre les éléments nutritifs.

4.2.2. PLANTE

4.2.2.1. Sensibilité des cultures pour une déficience-carence en Ca dans la plante.

Tableau 4.12

Culture	LIMITATION DE DEFICIENCE mesuré comme le taux de Ca (en %) dans la partie indiquée de la plante			Partie de la plante; stade de croissance
	Rien	Modéré	Marginal	
Arachide	> 0.5	< 0.5	-	Feuille adulte la plus jeune près d'apex; pré-floraison.
	> 1.25	1.0-1.25	< 1.0	Partie supérieur de la tige + feuilles près d'apex; commencement de la formation des gousses ("early pegging stage") (70-84 JAS).
Blé	> 0.2/0.3	0.12/0.18-0.2/0.3	< 0.12/0.18	Partie aérienne ou feuilles adultes les plus jeunes (2+3 ^{eme} feuilles sous l'épi); croissance végétative rapide jusqu'à l'épiaison.
Canne à sucre	> 0.15/0.2	0.1-0.12/0.2	< 0.1	La limbe de la 3eme feuille du apex ("top visible dewlap, TVD") ou les limbes des feuilles 3-6; 3-6 MAS.
Coton	> 1.9/2.3	0.1/0.2(?) - 1.9/2.3	< 0.1/0.2(?)	Feuilles adultes les plus jeunes près d'apex; 1 ^{ere} floraison (probablement ces valeurs sont surtout des niveaux critiques pour le coton irrigué).
Maïs	> 0.4	< 0.4	-	Le tiers central de la feuille de l'épi; le début de la floraison mâle (émission du pollen).
	> 0.2	0.1 - 0.2	< 0.1	Le tiers central de la feuille de l'épi; le début de la dessiccation des soies.
Mil	(> 0.5/1.0)	(0.25-0.5/1.0)	(< 0.25)	Incertain; probablement 2 ^{eme} feuille près d'apex; avant ou au floraison.
Niébé	> 1.5	< 1.5	-	Feuilles adultes; stade ?
	> 0.3	< 0.3	-	Gousses vertes; stade ?
	> 0.1	< 0.1	-	Graines; maturité.
Riz	> 0.15	< 0.15	-	Paille; maturité.
Soja	> 0.36	0.2-0.36	< 0.2	Dernières feuilles adultes les plus jeunes; fin floraison jusqu'à le commencement de la formation des gousses.
Sorgho	> 0.2	< 0.2	-	3 ^{eme} feuille à partir du sommet; 66+ JAS fin de floraison.

4.2.2.2. Sensibilité des cultures pour une toxicité de Ca dans la plante.

Tableau 4.13.

Culture	LIMITATION DE TOXICITE comme mesuré par le taux de Ca (en %) dans la partie indiquée de la plante			Partie de la plante; stade de croissance
	Rien	Modéré	Marginal	
Blé	<0.5	> 0.5	-	Partie aérienne; epiaison.
Canne à sucre	<0.45	0.45 - 0.5	> 0.5	La limbe de la 3 ^{eme} feuille dénervé du apex ("top visible dewlap, TVD"); stade 2-4 MAS.
Mais	<0.5	0.5 - 0.9/1.0	> 0.9/1.0	Le tiers central de la feuille de l'épi; le début de la dessiccation des soies.
Riz	<0.65	0.65 - 0.75	> 0.75	Partie aérienne; ~100 JAS.
Sorgho	<1.5	> 1.5	-	Partie aérienne; stade 3 (~ 35 JAS).
	<0.9	> 0.9	-	Feuille adulte la plus jeune près d'apex; stade 3-5, croissance végétative (37-56 JAS).
	<0.6	> 0.6	-	3 ^{eme} feuille à partir du sommet; stade 7-8, floraison (? JAS).

() ou ?: incertain

/ écart entre variétés, localité ou des autres circonstances.

JAS = jours après semis.

4.2.2.3. Interactions avec Ca dans la plante.

Tableau 4.14.

Arachide	Ratio Ca/P optimal 6.7 - 10	DRIS, mais (cf. Beaufils 1957)	
		Moyen	cv %
		Ca/N	0.200 34
		Ca/P	2.43 45
		K/Ca	3.31 59
		Mg/Ca	0.492 35
		Ca/S	2.39 54

4.3. RECOMMANDATIONS

4.3.1. Niveau BAS des apports

4.3.1.1. PAR ZONE Le besoin d'un chaulage est plus haut dans le sud.

4.3.1.2. PAR SOL - Mali-sud

33: Dolomite, fumure organique, PNT.

41: (Fumure organique + PNT).

4.3.1.3. PAR LIMITATION BASE SUR L'INTERPRETATION ANALYTIQUE ET PAR CULTURE

Taux modéré: Application régulière de la fumure organique ou du compost.

Sorgho, mil, arachide, niébé, soja: surtout sur le sol 33.

Taux marginal: Utilisation de PNT en dose suffisante comme 300 kg/ha, chaque 5-10 ans, peut à longue terme pourvoir des besoin en calcium. Si possible, il faut appliquer le simple superphosphate (avec 20 % Ca) sur l'arachide (comme vulgarisé) ou niébé (dose légère).

Mais: surtout sur sol 33.

4.3.2. Niveau HAUT des apports

4.3.2.1. PAR ZONE Le besoin d'un chaulage est plus haut dans le sud.

4.3.2.2. PAR SOL - Mali-sud:

33: Beaucoup de dolomite, PNT, (fumure organique).

41: Forte dose de PNT.

4.3.2.3. PAR LIMITATION SUR BASE DE L'INTERPRETATION ANALYTIQUE

Taux modéré: Une fertilisation de PNT (30 % Ca) ou superphosphate (20 % Ca) sera suffisante pour équilibrer les besoins annuels en calcium.

Taux marginal: Un chaulage régulier (chaque 5 ans, dose 500-2000 kg/ha) sera nécessaire pour maintenir les niveaux des rendements. Il faut donner une grande dose après une forte acidification, si les frais sont acceptables en vue des rendements prévus dans l'avenir; dans ce cas il s'agit d'un aménagement ou un redressement. Application d'une dose de la fumure organique (1 % Ca) ou PNT (30 % Ca) peut remplacer une partie de la chaux. Le chaulage doit être fait préférentiellement avant une culture des légumineuses (soja, niébé, arachide) ou une prairie mixte (herbes/legumineuses).

5. MAGNESIUM

5.1. LE MAGNESIUM DANS LES SYSTEMES DE CULTURE

Magnesium est un élément qui ressemble le calcium dans plusieurs façons. Souvent le taux de magnesium est moins que cela de calcium, normalement un quart de celui de calcium. Il n'y a pas des expériences de carence en Mg au Mali. Cependant on peut attendre une déficience en Mg sur les sols de CRC basse, avec une réserve basse en minéraux altérables et un pH < 5; surtout dans les années avec une pluviométrie haute cette déficience pourrait apparaître.

Un chaulage avec dolomite contenant une faible taux de magnesium suffira pour éviter des carences. Il y en a des types de dolomites comme ceux de Fanina (Dioila) qui ont presque le même taux de magnesium et calcium.

5.1.1. Pertes du magnesium

5.1.1.1. Erosion.

Les pertes en Mg par l'érosion ne sont pas tellement importantes.

5.1.1.2. Lixiviation.

Les pertes par lixiviation sont considérables. Mg étant un cation bivalent est facilement échangé au complexe absorbant. La zone sud avec plus de pluviométrie est estimée d'avoir deux fois plus de pertes que dans la partie nord.

5.1.1.3. Exportations par les cultures.

Tableau 5.1.

Culture	Exportations totales en Mg par rendement grain/gousse/canne (kg/ha)																				
	500			1000			1500			2000			3000			4000			5000		
	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max
Arachide	4	6	10	4	8	15	6	11	19	9	16	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Blé	-	-	-	4	5	5	4	6	7	5	7	10	7	11	15	11	15	20	14	19	25
Coton	-	-	-	-	5	7	6	8	10	7	10	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mais	1	3	6	2	5	9	4	7	11	6	9	13	9	13	17	13	16	20	17	20	23
Mil	-	8	-	9	13	17	13	17	19	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Niébé	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Riz	-	-	-	-	4	-	-	5	-	-	6	-	-	8	-	-	10	-	-	11	-
Soja	-	-	-	-	-	-	20	25	31	20	25	33	21	30	36	-	-	-	-	-	-
Sorgho	-	2	-	5	10	14	12	15	19	14	17	20	16	19	22	18	21	24	19	23	26
	<u>50.000</u>			<u>75.000</u>			<u>100.000</u>			<u>125.000</u>			<u>150.000</u>								
Canne à sucre	-	-	-	26	35	44	29	39	50	32	43	54	36	47	58	-	-	-	-	-	-

Tableau 5.2.

Culture	Exportations grains/gousses en Mg par rendement grain/gousse (kg/ha)																				
	500			1000			1500			2000			3000			4000			5000		
	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max
Arachide	-	1	-	-	2	-	2	2	3	3	3	4	4	5	7	-	-	-	-	-	-
Blé	-	-	-	1	2	2	2	3	4	3	4	5	4	6	9	5	9	12	8	12	15
Coton	-	-	-	2	-	-	-	3	-	3	5	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mais	-	1	-	1	2	2	1	2	3	2	3	3	3	4	4	4	5	6	5	6	8
Mil	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Niébé	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Riz	-	-	-	-	2	-	-	4	-	-	5	-	-	7	-	-	8	-	-	8	-
Soja	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4	7	13	8	15	20	-	19	-	-	-	-
Sorgho	-	1	-	1	2	2	2	3	5	3	4	7	4	6	9	5	8	11	6	10	12

Remarque: Avec l'exportation des fanes de l'arachide ou la litière du mil ou sorgho on perd relativement beaucoup de Mg.

5.1.2. Apports du magnésium

5.1.2.1. Pluie.

L'écart en estimations des contributions en Mg dans la pluviométrie sont 1.4-2.7 kg/ha/an.

5.1.2.2. Engrais.

Les engrais contenant Mg au Mali sont:

- PNT avec 0.9-2.1 % MgO (moins soluble).
- chaux dolomitique éteinte avec 2-50 % MgO.
- Sel d'Epsom MgSO₄ avec 15 % MgO.

5.1.2.3. Fumure organique.

Dans la fumure organique se trouve 0.6 % de Mg.

5.1.3. Bilan minéraux concernant le magnésium dans quelques cultures et rotations.

5.1.3.1. Coton-mais-sorgho.

L'exportation de la litière cause un peu plus de l'exportation de Mg. Presque dans tous les cas (sauf avec l'application forte du fumure organique au coton et un rendement faible, sans exportation de la litière) le bilan devient négatif; c'est à dire les cultures dégagent le magnésium de la réserve dans une façon régulière. La réserve en Mg est normalement assez grande pour que une rotation comme coton-mais-sorgho puisse durer une longue nombre des années. Le Mg ne sera pas épuisé facilement, mais peut-être il y aura une faible disponibilité de Mg dans les sols acides pendant un hivernage très humide, par exemple visible dans des cultures de maïs au rendement élevé.

Il n'y a pas beaucoup de différences entre les bilans de 2 et 10 ton d'érosion. Avec cet érosion on perd 40-70 kg Mg/ha/3 ans, donc 13-23 kg Mg/ha/an, 0.07-0.12 % de perte en Mg par an.

5.1.3.2. Arachide-mil-nil.

Dans cette rotation le bilan est toujours négatif. Les intrants de Mg sont faibles: la fumure organique avec 0.6 % Mg et un peu par la pluie. A l'autre côté la lixiviation pourrait être considérable; la disponibilité de Mg par échange du complexe absorbant est plus importante.

Les pertes en Mg dans cette rotation sont moins que dans la rotation coton-mais-sorgho: ils sont 20-65 kg Mg/ha/3 an, 7-22 par an, 0.04-0.11 % par an.

5.1.3.3. Riz irrigué.

Il n'y a pas des problèmes de carence en Mg; seulement un résultat négatif est montré par les rendements élevés avec l'exportation de la paille. Cependant les réserves en Mg sont considérables et une carence n'est pas prévue.

5.1.4. Taux de magnésium dans les sols maliens

Le taux de magnésium dans les sols vierges du Mali-sud est:

Tableau 5.3.

Sol	Ecart et moyen de Mg. me/100 g. 0-20 cm		% argile	Mg/CEC (%)	Mg/ECRC (%)	Interprétation
- 1	0.4	-	-	(5)	-	-
- 21	0.4-3.8	2.1	12	21	22	très haut
- 22	0.5-1.1	0.8	17	20?	18	moyen (-haut)
- 31	1.0-2.4	1.7	20	24	40	haut
- 32	0.6-2.2	1.4	17	24	35	haut
- 33	0.3-1.0	0.6	25	(13)	33	moyen
- 34	0.4-1.2	0.8	8	33?	28	moyen (-haut)
- 35	0.3-2.0	1.1	16	25	27	haut
- 36	0.2-1.7	0.9	11	20?	18	moyen (-haut)
- 41	0.6-3.3	1.9	var.	35	49	haut-très haut
- 42	0.2-2.1	0.9	var.	13	34	moyen (-haut)
- 43	0.5-6	2.4	var.	17	28	très haut

Sol	Ecart et moyen de Mg. me/100 g. 20-40 cm		Mg/CEC (%)	Mg/ECRC (%)	Interprétation
- 1	-	-	-	-	-
- 21	0.1-0.8	0.4	8	38	bas (-haut)?
- 22	0.6-2.7	1.6	25	50	haut
- 31	0.6-3.1	1.8	23	55	haut
- 32	0.3-2.1	1.2	19	35	haut
- 33	0.2-1.2	0.7	(11)	47	moyen (-haut)
- 34	0.3-1.5	0.9	35?	33	moyen (-haut)
- 35	0.1-2.1	1.1	15	37	haut
- 36	0.4-2.2	1.3	?	33	haut
- 41	0.1-0.7	0.4	7	40	bas (-haut?)
- 42	0.1-1.7	0.8	13	30	moyen (-haut)
- 43	0.3-7.0	2.3	22	31	très haut

Remarque: Il n'y aura pas des problèmes de carence en Mg, mais à longue terme on peut attendre des déficiences chez les cultures plus sensibles (surtout le niébé, mais aussi le maïs et le blé sur les sols de types 33, 34 et 42-sableuse).

Le taux de magnésium dans les sols de l'Office du Niger est:

Tableau 5.4.

Sol	Ecart et moyen de Mg. me/100 g sol. 0-20 cm		% argile	Mg/CEC (%)	Mg/ECRC (%)	Interprétation
Dian	0.2-8.0	2.8	33	19	24	(très) haut
Moursi	0.9-7.0	4.2	49	21	27	(très) haut
Danga	0.3-5.0	1.8	18	20	23	haut
Danga-Seno	0.0-1.4	0.9	13	13	20	moyen (-haut)

Sol	Ecart et moyen de Mg. me/100 g sol. 20-40 cm		Mg/CEC (%)	Mg/ECRC (%)	Interprétation
Dian	0.3-8.4	3.5	22	27	très haut
Moursi	0.4-7.6	4.6	21	28	très haut
Danga	0.6-4.1	2.3	16	26	très haut
Danga-Seno	0.4-1.9	1.2	15	27	haut

5.2. INTERPRETATIONS DES DONNEES ANALYTIQUES

5.2.1. SOL

5.2.1.1. Classification de Mg-échangeable dans le sol.

Le taux de magnésium échangeable, à 0-20 cm de profondeur, mesuré comme Mg-échangeable (me/100 g sol), ou comme Mg/CEC (mesuré avec NH₄OAc, pH 7) ou comme Mg/ECEC (mesuré comme somme des cations + Al) est interprété comme suivante:

5.2.1.1.1. EN GENERAL:

Tableau 5.5.

	Très haut	Haut	Moyen	Bas	Très bas	Trèstrès bas	Superbas
Magnesium échangeable (me/100 g)	> 2	1-2	0.6-1	0.3-0.5	0.15-0.3	0.05-0.15	< 0.05
Mg/CEC (%)	> 6	5-6	4-5	2-4	< 2		
Mg/ECEC (%)	10-15	< 10	?	?	?		

5.2.1.1.2. PAR TYPE DE SOL (provisoire):

Tableau 5.6.

% argile, 0-20 cm	Mg-échangeable (me/100 g sol)				
	Très haut	Haut	Moyen	Bas	Très bas
< 13	> 2	1-2	0.5-1	0.1/0.2-0.5	< 0.1/0.2
13 - 25	> 4	2-4	0.7-2	0.25-0.7	< 0.25
25 - 40	> 6	3-6	1.0-3	0.3-1.0	< 0.3
> 40	> 8?	4-8?	2-4?	0.4-2?	< 0.4?

5.2.1.2. Sensibilité des cultures pour une déficience-carence en Mg dans le sol.

Tableau 5.7.

Culture	LIMITATION DE DEFICIENCE mesuré comme le taux de Mg-échangeable (me/100 g sol), 0-20 cm			Remarques
	Rien	Modéré	Marginal	
Arachide	(> 0.1)	(< 0.1)	-	
Blé	> 0.25	(0.1)-0.25	(< 0.1)	
Canne à sucre	> 0.1	< 0.1	-	
Coton	> 0.16	< 0.16	-	Le coton est plus sensible que le maïs, bien que son niveau critique soit moins que celui du maïs.
Maïs	> 0.25/0.28	0.1/0.17-0.25/0.28	<0.1/0.17	
Mil	(> 0.1)	(< 0.1)	-	
Niébé	(> 0.5)	(0.3-0.5)	<0.3	
Riz	(> 0.1)	(< 0.1)	-	

Culture	LIMITATION DE DEFICIENCE mesuré comme le taux de Mg-échangeable (me/100 g sol), 0-20 cm			Remarques
	Rien	Modéré	Marginal	
Soja	(> 0.2)	(0.1-0.2)	(< 0.1)	
Sorgho	(> 0.2)	(0.1-0.2)	(< 0.1)	

Tableau 5.8.

Culture	LIMITATION DE DEFICIENCE comme mesuré par Mg/CRC (X)		
	Rien	Modéré	Marginal
Coton	> 4/6	< 4/6	-
Mais	> 5	< 5	-
Mil	(> 5)	(< 5)	-
Sorgho	(> 4)	(< 4)	-

? incertain
/ écart entre variétés

5.2.1.3. Interactions avec Mg dans le sol.

Une déficience en Mg pourrait être causée par une forte application de K (voir rapport Mg/K), une application d'une mulch des herbes riches en K ou par une fertilisation avec NH₄.

5.2.1.3.1. Ca/Mg dans le sol.

Le rapport Ca/Mg n'est pas important si Ca > Mg ou si Mg-échangeable > 0.4 me/100 g sol. Alors le rapport sera effective dans les sols avec un faible taux de Ca et Mg; c'est à dire si Ca < 0.4 et Mg < 0.4 me/100 g sol et Ca < Mg.

Tableau 5.9. Sensibilité des cultures pour une imbalance de la rapport Ca/Mg dans le sol.

	(Ca, Mg interchangeable NH ₄ OAc)			
	Ratio me Ca/me Mg par 100 g sol, 0-20 cm			
	Haut	Moyen	Bas	Très bas
<u>Niveau critique:</u>	>1	0.5-1	0.2-0.4	< 0.2
Canne à sucre	a	b	c	d
Mais, niébé	a	a	b	c
Arachide, coton, mil, riz, sorgho	a	a	a	b

Explication: a. Pas de problème.
b. Un problème de déséquilibre entre les éléments nutritifs est incertain, mais possible.
c. Un problème de déséquilibre entre les éléments nutritifs est prévu.
d. Problème grave de déséquilibre entre les éléments nutritifs.

5.2.1.3.2. K/Mg dans le sol.

Le rapport K/Mg ou Mg/K est plus important que les autres rapports (Ca/Mg, Ca/K).

Le rapport K/Mg et Mg/K dans les sols vierges du Mali-sud est:

Tableau 5.10

Sol	K/Mg, 0-20 cm	Mg/K, 0-20 cm
21	0.19	0.4
22	0.2	0.11
31	0.17	0.03
32	0.17	0.18
33	0.88?	0.11
34	0.15	0.16
35	0.21	0.16
36	0.14	0.13
41	0.13	-
42	0.3	0.23
43	0.17	0.08

Remarque: Les sols 31 et 43 (tourbeux) ont besoin de plus de potassium dans le sous-sol. En effet la plupart des sols ont besoin de K pour enlever le rapport K/Mg. Le sol 33 semble d'avoir un rapport K/Mg trop haut ce que est mauvais pour des cultures sensibles comme le coton et le soja (une application avec dolomite est recommandable). Sur un sol du type 42 il faut appliquer le potassium et la dolomite.

Les sensibilités du rapport K/Mg entre les cultures sont tentativement comme suivantes:

Tableau 5.11. LIMITATION DE DEFICIENCE OU IMBALANCE comme mesuré par le rapport K/Mg ou Mg/K (0-20 cm)

Culture	K/Mg			Mg/K		
	Rien	Modéré	Marginal	Rien	Modéré	Marginal
Arachide	(0.05/0.2-5)	(<0.05/0.2) (>5)	-	(0.2-5/20)	(<0.2) (>5/20)	-
Blé	(>0.2?)	?	-	(<5?)	?	-
Canne à sucre	0.13-0.2(/1)	(<0.05?) (>1)	-	(1)-7.7	(<1) (>20?)	-
Coton	0.04-0.33	<0.04 >0.33	-	3-25	<3 >25	-
Mais	(0.5-1.5)	(0.25-0.5/1.2) (1.5-2)	(<0.25) (>2)	(0.7-2)	(0.5-0.7) (0.8/2-4)	(<0.5) (>4)
Mil	(>0.2?)	?	-	(<5?)	?	-
Niébé	(0.2/0.25-1.5)	(<0.2/0.25) (>1.5)	-	(0.7-4/5)	(<0.7) (>4/5)	-
Riz	(0.2/0.5-2)	(<0.2/0.5) (>2)	-	(0.5-2/5)	(<0.5) (>2/5)	-
Soja	<0.5/(0.8?)	>0.5/(0.8?)	-	>1.2/2	<1.2/2	-
Sorgho	(0.2/0.25-2)	(<0.2/0.25) (>2)	-	(0.5-4/5)	(<0.5) (>4/5)	-

/ Ecart entre variétés, localités ou des autres circonstances. () ou ? Données incertains.

5.2.2. PLANTE

5.2.2.1. Sensibilité des cultures pour une déficience-carence en Mg dans la plante.

Tableau 5.12.

Culture	LIMITATION DE DEFICIENCE mesuré comme le taux de Mg (en %) dans la partie indiquée de la plante			Partie de la plante; stade de croissance
	Rien	Modéré	Marginal	
Arachide	> 0.25	<0.25	-	Feuille adulte la plus jeune de la tige principale; avant floraison.
	> 0.3	<0.3	-	Partie supérieur de la tige + feuilles près d'apex; commencement de la formation des gousses ("early pegging stage") (70-84 JAS).
Blé	> 0.12/0.15	0.05/0.11-0.12/0.15	< 0.05/0.11	Feuille adulte la plus jeune; stade vegetative.
	> 0.15	< 0.15	-	Partie aérienne; epiaison (stade FS10).
Canne à sucre	> 0.08/0.12	<0.08/0.12	-	La limbe de la 3 ^{eme} feuille dénervé du apex (top visible dewlap, TVD"); 2-4 MAS.
	> 0.1	0.05-0.1	< 0.05	Partie de la tige, "entre-noeuds 8-10"; stade 6-10 MAS.
Coton	> 0.3/0.5	0.3-0.5	< 0.3	Feuille adulte la plus jeune près d'apex; 1 ^{ere} floraison (" 84 JAS).
Mais	> 0.17(/0.36)	0.13/0.17-0.17(/0.36)	<0.13/0.17	Feuilles; 30+ JAS, stade vegetative avec 3-5 feuilles par plante.
	> 0.25	0.1-0.25	(< 0.1)	Le tiers central de la feuille de l'epi; le début de la floraison mâle.
	> 0.13/0.3	0.1-0.13/0.3	< 0.1	Le tiers central de la feuille de l'epi; le début de la dessiccation des soies.
Mil	(> 0.2)	(0.1-0.2)	(< 0.1)	2 ^{eme} feuille à partir du sommet; avant ou au floraison.
Niébé	> 0.17	(< 0.17)	-	Feuille; stade ?
	(> 0.2)	-	-	Graines; maturité.
Riz	> 0.12	<0.12	-	Feuille paniculaire ? ("Y leaf blade"); tallage.
	> 0.10	<0.10	-	Paille; maturité.
Soja	> 0.2/0.3	(0.1)-0.2/0.3	(< 0.1)	Dernière feuille adulte la plus jeune; commencement de la formation des gousses.
Sorgho	> 0.2	<0.2	-	Feuille adulte la plus jeune; 37-56 JAS, stade 3-5, vegetative).
	> 0.2	0.1/0.15-0.2	< 0.12/0.15	3 ^{eme} feuille adulte à partir du sommet; fin floraison (66-70 JAS).
	> 0.1/0.2	0.1-0.2	<0.08/0.1	3 ^{eme} feuille adulte à partir du sommet; après floraison ("early milky stage") (82-97 JAS).

5.2.2.2. Sensibilité des cultures pour une toxicité de Mg dans la plante.

Tableau 5.13.

Culture	LIMITATION DE TOXICITE comme mesuré par le taux de Mg (en %) dans la partie indiquée de la plante			Partie de la plante; stade de croissance
	Rien	Modéré	Marginal	
Blé	< 0.5	>0.5	-	Partie aérienne; epiaison.
Canne à sucre	< 0.32	0.32-0.35	>0.35	La limbe de la 3 ^{eme} feuille dénervé du apex; stade 2-4 MAS.
Mais	< 0.24/0.4	0.24/0.4-0.55	>0.55	Le tiers central de la feuille de l'épi; le début de la dessiccation des soies.
Mil	(< 0.8)	(0.8-2)	(>2)	Partie aérienne; floraison.
Riz	< 0.3	0.3-0.5	>0.5	Partie aérienne; stade ~100 JAS.
Sorgho	< 0.8	>0.8	-	Partie aérienne; stade 3 (~ 35 JAS).
	< 0.5	>0.5	-	3 ^{eme} feuille sous l'épi; stade 6, floraison.

? incertain
/ écart entre variétés
JAS = jours après semis.

5.2.2.3. Classification générale du taux de Mg dans les feuilles.

Tableau 5.14.

	Très haut	Haut	Moyen	Bas	Très bas
mg Mg/g matière sèche	?	?	?	?	< 0.4

5.2.2.4. Interactions avec magnésium dans la plante.

Tableau 5.15.

Culture	Ratio Mg/P optimale	DRIS, mais (cf. Beaufils 1957)	
		moyen	cv %
Arachide	3.3	Mg/N 0.098	46
		Mg/P 1.71	69
		K/Mg 7.73	74
		Mg/Ca 0.492	35
		Mg/S 1.20	58

5.3. RECOMMANDATIONS

5.3.1. Niveau BAS des apports

5.3.1.1. PAR ZONE Le besoin en Mg sera plus haut dans le sud.

5.3.1.2. PAR SOL 33. Dolomite.
42. Dolomite.

5.3.1.3. PAR LIMITATION BASE SUR L'INTERPRETATION ANALYTIQUE ET PAR CULTURE

Taux modéré: Application régulière de la fumure organique.

Niébé: surtout sur le sol 33 dans les zones Soudan-sud et Guinée-nord II.

Taux marginal: Utilisation de PNT, mais dans ce cas comme une faible source de Mg (1-2 % MgO). L'effet de PNT sur l'alimentation de Mg par les plantes n'est pas connu: peut-être il faut changer la culture vers une culture plus adaptée.

5.3.2. Niveau HAUT des apports

5.3.2.1. PAR ZONE Le besoin en Mg sera plus haut dans le sud.

5.3.2.2. PAR SOL 33. Beaucoup de dolomite.
42. Demi dose de dolomite, demi dose de PNT.

Coton: une déficience en Mg aux sols sableux est une possibilité.

5.3.2.3. PAR LIMITATION BASE SUR L'INTERPRETATION ANALYTIQUE

Taux modéré: Changez le type de la chaux par une chaux de composition dolomitique (2 % Mg, comme dans la chaux de Hombari). Utilisation de PNT comme une fertilisation au fond.

Taux marginal: Utilisez une chaux dolomitique, ou pour avoir un effet plus rapide une application de MgSO₄ (sel d'Epsom).

Tableau 6.2.

	Exportations grains/gousses en S par rendement grain/gousse (kg/ha)																				
	500			1000			1500			2000			3000			4000			5000		
	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max	min	mo	max
Arachide	-	-	-	-	2	-	-	3	-	-	4	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-
Blé	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	3	-	-	4	-	-	5	-
Coton	-	-	-	-	2	-	2	2	3	2	5	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mais	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	3	-	-	4	-	-	5	-
Mil	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Niébé	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Riz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Soja	-	-	-	-	3	-	-	5	-	-	6	-	-	10	-	-	13	-	-	-	-
Sorgho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	4	-	-	6	-	-	8	-

6.1.2. Apports du soufre

6.1.2.1. Pluie.

Il y a des estimations de la quantité de S dans la pluviométrie d'environ 4-5 kg S/ha/an (Pieri 1985); ça semble beaucoup pour une région presque sans industrie. Est ce que le feu de brousse peut contribuer à ce taux relativement haut de S dans la pluie? Pour la recherche agronomique c'est nécessaire d'avoir quelques sites dans la région pour prélever la pluie et la poussière pour bien déterminer l'apport des éléments nutritifs.

6.1.2.2. Matière organique.

La matière organique est une source de S importante (0.5 % S).

6.1.2.3. Fumure organique.

Il y a 0.1 % S dans la fumure organique; 35 % sera utilisable pendant la première année.

6.1.2.4. Engrais.

Avec l'utilisation de plus en plus d'uree comme engrais azoté, l'apport de S est diminué dans le temps actuel. La recherche agronomique peut inclure dans son programme de riz dans l'Office du Niger la comparaison entre (NH₄)₂SO₄ et uree, par exemple avec (NH₄)₂SO₄ au fond et l'uree supplémentaire. On peut faire la même avec la canne à sucre qui semble d'avoir un plus grande besoin en S. Pour le riz il semble qu'il y a beaucoup des différences entre les variétés du riz concernant la sensibilité pour une carence en S.

Au Mali il y a des engrais suivants, qui contiennent le soufre:

- K₂SO₄ avec 17 % S.
- Gypse (CaSO₄) avec 19 % S.
- Kieserite MgSO₄ avec 22 % S.
- PNT avec 0.5-0.8 % SO₃ = 0.2-0.3 % S.
- SSP avec 10-12 % S
- (NH₄)₂SO₄ avec 24 % S.
- Complexe coton ou céréale avec 7 % S.

6.1.2.5. Doses appliquées.

Arachide: 8-9 S, souvent donné comme 65-75 kg SSP/ha.

Blé: Une déficience de S peut se passer avec une faible pluviométrie sur les sols sableux acides avec une faible taux de matière organique. Le taux en S de la paille soit être plus de 0.15 pour éviter une carence en S.

Canne à sucre: 18 kg S/ha.

Coton: 10-12 kg S/ha. Dans le sud on a observé 3-14 % plus de rendement après une application de S.

Mais: 3-12 kg S/ha. On a trouvé de réponse de 3-14 % plus de rendement dans le sud.

Mil: 0-9 kg S/ha, par exemple par l'application du complexe coton ou céréale.

Niébé: 0-9 kg S/ha. On a trouvé une réponse au soufre dans la serre, mais pas avec des rendements bas dans les champs. A Sotuba on a vu des différences claires entre les champs sans et avec soufre, mais seulement dans les colorisation des cultures, mais pas les rendements.

Riz irrigué: 0-6 kg S/ha, souvent rien. L'enfouissement de la paille donnera une carence en S si le taux de S dans la paille est moins que 0.15 %.

Riz de bas-fonds: 0-12 S (100 SSP).

Soja: 9-12 kg S/ha.

Sorgho: 0-9 kg S/ha, par une application du complexe coton ou céréale. Il n'avait pas de réponse à SSP qui a été donné à l'arachide précédente.

6.1.3. Bilan minéraux concernant le soufre dans quelques rotations culturales.

Dans l'annexe VII les deux bilans coton-mais-sorgho et arachide-mil-mil sont donnés avec deux niveaux d'érosion et deux niveaux de lixiviation de S, parce que les données concernant le soufre n'étaient pas souvent certaines.

La réserve en S est estimée seulement pour la surface du sol, 0-20 cm. Le soufre du sous sol dans une forme organique ou inorganique (SO₄) sera important pour la nutrition en S, mais ce n'est pas encore incluse dans la réserve des bilans, parce que l'estimation de cette réserve soit très incertaine.

6.1.3.1. Coton-mais-sorgho.

Presque tout le bilan est négatif, sauf pour le coton dans le cas d'une lixiviation estimée comme faible. Dans tous les autres cas le bilan montre une carence en S. On a trouvé des réponses au soufre dans le coton et le maïs par la station de N'Tarla. Il y en a une fertilisation de S dans le complexe coton ou céréale.

Les pertes en S sont 15-37 kg S/ha/3 ans, c'est à dire 5-12 kg S/ha par an, 4-9 % ! sur base de réserve estimé pour la surface de sol (0-20 cm).

6.1.3.2. Arachide-mil-mil.

On trouve des déficiences en soufre dans les cas avec l'exportation de la litière, surtout avec le mil. L'érosion est une facteur importante concernant les pertes en S de réserve. La lixiviation est importante de point de vue de S-disponible; le drainage et la perméabilité dans le sol déterminent la disponibilité de S pour les plantes.

Les pertes en S sont 0-38 kg S/ha/3 ans; 0-13 kg S/ha par an (0-10 % de la réserve !?).

Riz irrigué.

Dans la culture riz irrigué continue le soufre est un élément curieux. La réserve est estimée d'être faible dans les sols de l'Office du Niger. L'importance de 5 kg S/ha/an par la pluie est à confirmer pour cette zone. La lixiviation de S dans ces sols est mal connue. Les sources importantes de S sont la nappe et la paille du riz de la récolte passée. Le bilan montre une situation précaire concernant le soufre. Il semble que plus de recherche et analyses sont nécessaires pour vraiment avoir de bon information sur la rôle du soufre dans le riz irrigué.

6.2. INTERPRETATIONS DES DONNEES ANALYTIQUES

6.2.1. SOL

6.2.1.1. Méthodes.

Il y a beaucoup des types de mesurments de soufre en sol, mais il manque des données de sensibilités des cultures en relation avec les résultats d'analyse. Les méthodes sont:

- A: NH₄OAc/Acide acétique, pH 4.8, rapport 1:2,5, 30 minutes (Morgan-modifié).
- B: Ca(H₂PO₄)₂, 0.01 M, pH 4.0, rapport 1:20, 16-24 heures.
- C: Ca(H₂PO₄)₂, 500 ppm, rapport 1:2.5 ou 5 ou 10, 30 minutes.
- D: S total
- E: 0.5 N NH₄C₂H₃O₂ + 0.025 N CH₃
- F: NaHCO₃
- G: Sol solution, nutrient solution
- H: LiCl
- I: Eau d'irrigation (concentration dans l'eau).
- J: Sol percolation ("soil leaching")

6.2.1.2. Classification de déficience en soufre dans le sol.

Avec les même 10 types de méthodes d'analyse on peut provisoirement diviser la sensibilité des cultures, comme suivante:

Tableau 6.3.

Méthode	Classes, sur base de ppm S					
	Très haut	Haut	Moyen	Bas	Très bas	Trèstrès bas
A	> 90	35- 90	10- 35	7- 10	5- 7	< 5
B	> 150	50-150	15- 50	5- 15	< 5	
C		> 8	4- 8	< 4		
D			>100	70-100	<70	
E			> 14	< 14		
F			> 10	< 10		
G			>2/5	1-2/5	< 1	
H		> 25	< 25			
I		> 2	1 - 2	< 1		
J		>1.7/2.3	0.7-1.7/2.3	< 0.7		

6.2.1.3. Sensibilité des cultures pour une déficience en soufre, mesuré avec plusieurs méthodes d'analyse.

Tableau 6.4.

	LIMITATION, mesuré par méthode indiquée, ppm S		
	Rien	Modéré	Marginal
METHODE A.			
Mil	> 7	< 7	-
Coton	> 3	< 3	-
Riz	> 30	< 30	-
METHODE B.			
Legumineuses	> 3/5	< 3/5	-
Riz	> 9	< 9	- (méthode B ou C)
Blé	> 2	< 2	- (méthode B ou C)
METHODE C.			
Mais	> 8	4-8	< 4
METHODE D.			
Coton	> 70/100	< 70/100	-
Coton	> 50/100	< 50/100	-
METHODE E.			
Coton	> 14	< 14	-
METHODE F.			
Coton	> 10	< 10	-
METHODE G.			
Niébé	> 2.5/5	< 2.5/5	- (sol solution)
Coton	> 1.7	< 1.7	- (sol solution)
METHODE H.			
Riz	> 25	< 25	-
METHODE I.			
Mais	> 1	< 1	-
Riz	> 0.9/2	< 0.9/2	-
METHODE J.			
Niébé	> 0.7/3.2	< 0.7/3.2	-
Canne à sucre	> 1.7	< 1.7	-

Tableau 6.5.

Culture	LIMITATION DE DEFICIENCE par classe du taux de S					
	Très haut	Haut	Moyen	Bas	Très bas	Trèstrès bas
Blé	a	a	a	a	b	c
Sorgho	a	a	a	a	b	c
Riz	a	a	a-b	a-c?	b-d?	c-e?
Mais	a	a	a	a-b	b-c	c-d
Mil	a	a	a	a-b	b-c	c-d
Arachide	a	a	a	b	c	d
Coton	a	a	a	b	c	d
Soja	a	a	a	b	c	d
Niébé	a	a	a	b	c	d
Canne à sucre	a	a-b	b-c	c-d	d-e	e

Explication: a= rien, pas de limitation ; b= limitation modéré; c= limitation marginal; d= limitation grave; e= limitation très grave.

Remarque: L'écart entre les valeurs au-dessus montre la différence entre le niveau critique au rendement haut avec beaucoup de paille et le niveau critique au rendement bas.

6.2.1.4. Relation entre la déficience en S et le pH du sol.

Dans un sol acide ($\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) < 5.5$), il y a plus d'absorption de SO_4 par les minéraux d'argile (absorption des anions) et les oxydes de Fe et Al que dans un sol neutre. C'est à dire il y a moins de SO_4 dans la solution et cela peut résulter dans une déficience de S par une disponibilité réduite. Si on ajoute de la chaux et augmente le pH plus de S sera disponible (les estimations sont en ordre de trois fois de plus par unité de pH).

Tableau 6.6.

pH(H ₂ O):	4.0	4.5	5.0	5.5
Disponibilité en S (%):	25	50	75	100

6.2.1.5. Relation entre la déficience en S et la zone agro-écologique.

Tabatakai (1986) a remarqué que la déficience de S se trouve dans la zone de plus de 600 mm de pluviométrie. Dans le nord du Nigeria Bloomfield (1975) a trouvé une S-déficience dans l'arachide, 5-7 semaines après semis. Brand (1970) (cité par Fox et Blair dans Tabatakai 1986) donnait 56 % d'environ 200 localités en L'Afrique de l'ouest d'avoir 10 % de réduction en rendement par la déficience en S (en comparaison de NPK plus S ou sans S). Fox et Blair (1986) ont observé que la zone près de la forêt tropicale a une intensité de carence en S plus haute, parce que il y ait plus de lixiviation que dans le nord sec et donc moins de SO_4 dans le sous-sol.

Dans les sols de savanna du Ghana-nord (Acquaye et Beringer 1989) avec 760-1140 mm de pluviométrie annuelle le taux de S dans les sols était le plus bas, sous le niveau critique de 6 ppm. Le soufre était bien corrélé avec le C-organique et le N-total dans la surface et le sous sol. Alors dans une zone plus sèche la lessivage de soufre sera réduite et souvent on ne trouve pas ou moins de déficiences de soufre; par exemple dans la zone Soudan-Nord (Banamba-Segou-San-Tomenian) on peut attendre moins de déficiences en soufre, mais vers le sud des carences en S sont bien possible.

On dit que une réduction de seulement 10 % n'est pas suffisante pour une programme de fertilisation dans le cas de N, P ou K, mais pour les éléments secondaires comme Ca, Mg et S le 10 % suffit pour appliquer ces éléments.

6.2.2. PLANTE

6.2.2.1. Sensibilité des cultures pour une déficience-carence en S dans la plante.

Tableau 6.7.

Culture	LIMITATION DE DEFICIENCE mesuré comme le taux de S (en %) dans la partie indiquée de la plante			Partie de la plante; stade de croissance
	Rien	Modéré	Marginal	
Arachide	>0.15	<0.15	-	La feuille adulte la plus jeune; avant floraison.
	>0.2	0.1 - 0.2	< 0.1	La partie supérieur de la tige et quelques feuilles adultes, jeunes; ("early pegging stage"), 70-84 JAS.
Blé	>0.20	0.15 - 0.20	<0.15	Partie aérienne; stade de croissance vegetative rapide.
	>0.15	<0.15	-	Partie aérienne; epiaison (FS 10.1).
Canne à sucre	>0.24	<0.24	-	Les limbes des feuilles 3-6; 35 JAS.
	>0.36	<0.36	-	Partie aérienne; 35 JAS.
	>0.03	0.01 - 0.03	<0.01	Les limbes des feuilles 3-6; croissance vegetative rapide.
	>0.10 >0.16/0.22	<0.10 <0.16/0.22	-	Les limbes des feuilles 3-6; 70 JAS. La limbe de la 3 ^{eme} feuille dénervé du apex ("first visible dewlap, TVD").
Coton	>0.2/0.3	0.2-0.2/0.3	<0.2	Les feuilles adultes les plus jeunes; floraison (demi-saison).
Mais	0.16/0.24-0.3	(<0.16/0.24)	-	Partie aérienne ou seulement les feuilles adultes les plus jeunes; 30-45 JAS.
	>0.14/0.24	(0.10)-0.14/0.24	(<0.10)	La feuille de l'épi; le début de la dessiccation des soies.
Mil	>0.12/0.14	0.10-0.12/0.14	<0.10	Partie aérienne; ("3-4 weeks after clipping?").
Niébé	>0.3/0.6	<0.3/0.6	-	La feuille adulte la plus jeune; floraison.
Riz	>0.16	(<0.16 ou	<0.16)	La limbe d'une feuille jeune mûr; 21-28 JAS.
	>0.13	(<0.13 ou	<0.13)	La limbe d'une feuille jeune mûr; 42 JAS, tallage maximale.
	>0.11/0.23	(0.06/0.12)-0.11/0.23	(<0.06/0.12)	Partie aérienne; tallage.
	>0.11	(<0.11 ou	<0.11)	La limbe d'une feuille adulte la plus jeune; 63 JAS.
	>0.15	<0.15	-	La feuille paniculaire? ("Y leaf blade"); floraison.
	>0.04/0.10 >0.06/0.12	<0.04/0.10 <0.06/0.12	-	Paille; maturité. Grain; maturité.
Soja	>0.15	<0.15	-	Partie aérienne; 36 JAS.
	>0.19	<0.19	-	Partie aérienne; 60 JAS.
Sorgho	>0.15/0.16	(0.05/0.1)-0.15/0.16	(<0.05/0.1)	2 ^{eme} feuille adulte la plus jeune du apex; floraison.

6.2.2.2. Sensibilité des cultures pour une imbalance de la rapport N/S dans la plante.

Tableau 6.8.

Culture	LIMITATION DE DEFICIENCE comme mesuré par le rapport N/S dans la partie indiquée de la plante		
	Rien	Modéré	Partie de la plante; stade de croissance
Arachide	<13/15	>13/15	Les feuilles adultes les plus jeunes; avant floraison; le niveau critique est 13 si %N = 2.5 et le niveau est 15 si %N = 4.0.
Canne à sucre	<15	>15	La limbe de la 3 ^{ème} feuille dénervé du apex ("top visible dewlap, TVD").
Mais	<12/15	>12/15	Feuille de l'épi.
Niébé	<18/20	>18/20?	Grain; maturité.
Riz	<15 <14/16-19 <20/26	>15 >14/16-19 >20/26	Partie aérienne; tallage maximale. Paille; maturité. Grain; maturité.

6.2.2.3. Sensibilité des cultures pour une toxicité en S dans la plante.

Tableau 6.9.

Culture	LIMITATION DE TOXICITE mesuré comme le taux de S (en %) dans la partie indiquée de la plante			Partie de la plante; stade de croissance
	Rien	Modéré	Marginal	
Blé	<0.4	>0.4	-	Partie aérienne; epiaison.
Mais	<0.25	0.26-0.5	> 0.5	La feuille de l'épi; le début de la dessiccation des soies.
Mil	0.14-0.18	>0.25	-	Partie aérienne; ("4-5 weeks after clipping").
Riz	0.20 0.17	0.4-0.5 0.3-0.4	- -	Partie aérienne; 25 JAS. Partie aérienne; 39 JAS.

6.2.2.4. Interactions avec S dans la plante.

Tableau 5.10

	DRIS maïs		DRIS blé		(cf. Beaufils 1957)
	moyen	cv %	moyen	cv %	
S/N	0.082	22	0.068	19	
S/P	0.812	32	0.87	22	
S/K	0.123	28	K/S 10.10	25	

6.3. RECOMMANDATIONS

6.3.1. Niveau BAS des apports

6.3.1.1. PAR ZONE Dans le sud le besoin en S sera plus haut.

6.3.1.2. PAR SOL Office du Niger:

Sols dégradés: PNT + (NH₄)₂SO₄ au fond; dose supplémentaire d'uree.

Sols normales: soit simple superphosphate (SSP) au fond et dose supplémentaire d'uree, soit diammonium phosphate (DAP) au fond et dose supplémentaire de (NH₄)₂SO₄.

Sols alcalins: diammonium phosphate (DAP) au fond; dose supplémentaire de (NH₄)₂SO₄.

6.3.1.3. PAR LIMITATION SUR BASE DE L'INTERPRETATION ANALYTIQUE

Taux modéré: Appliquez la fumure organique sur la culture plus sensible (légumineuses, coton). Evitez brûlis.

Taux marginal: Appliquez plus de la fumure organique. Si possible, utilisez super simple phosphate. Conservez la matière organique. Faites du compost avec matériaux assez riches. Choisissez des cultures moins sensibles, par exemple les céréales.

6.3.2. Niveau HAUT des apports

6.3.2.1. PAR ZONE Dans le sud le besoin en S sera plus haut.

6.3.2.2. PAR SOL Mali-sud:
35: Un vrai besoin de S dans ce sol n'est pas clair.

Office du Niger:

Sols dégradés: PNT + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ au fond; dose supplémentaire d'uree.

Sols normales: soit simple superphosphate (SSP) au fond et dose supplémentaire d'uree, soit diammonium phosphate (DAP) au fond et dose supplémentaire de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Sols alcalins: diammonium phosphate (DAP) au fond; dose supplémentaire de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

6.3.2.3. PAR LIMITATION BASE SUR L'INTERPRETATION ANALYTIQUE

Taux modéré: Choisissez la culture la plus sensible dans la rotation (légumineuses, coton) et appliquez un engrais contenant le soufre en quantité suffisante. Evitez brûlis.

Taux marginal: Augmentez le taux de la matière organique par l'application de la fumure organique avec des engrais contenant le soufre (simple superphosphate, K_2SO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$). Calculez le besoin en S pour chaque culture et appliquez deux fois cette quantité à la culture la plus sensible dans la rotation. Contrôlez l'érosion.

7. ACIDITE ET TOXICITE D'ALUMINIUM

7.1. GENERAL

L'aluminium n'est pas un élément nutritif, mais trop d'Al empêche l'alimentation nutritif des plantes. Entre les cultures il y a des différences en sensibilités contre une toxicité d'Al.

L'aluminium, avec le hydrogen, est un élément qui peut occuper beaucoup de place sur le complexe absorbant (CEC) dans les sols acides. Dans ces sols on peut trouver aussi un toxicité de manganese; cette toxicité n'est pas encore prouvé d'être d'importance au Mali, mais théoriquement ca serait possible. Il y a plusieurs processus différentes qui acidifient le sol: l'oxydation de la matière organique, la déposition de la pluie acide, l'oxydation des combinaisons du fer (après drainage des sols irrigués) et l'utilisation d'engrais-NH₄. L'acidification a surtout lieu dans la zone humide, où on trouve que la pluviométrie lixivie le sol du calcium et rend les sols acides. Avec l'utilisation de beaucoup d'engrais ammoniacale il y aura une acidification accélérée. Après une longue période d'utilisation de cette type de N-engrais, le sol devra plus acide et développe un taux d'aluminium échangeable toxique. Dehors le climat l'intensité de telle dégradation chimique dépend aussi sur le drainage du sol, la texture et la perméabilité, le taux de la matière organique, la mineralogie (CEC) et la pente.

Presque dans tout le Mali-sud et d'abord la partie sud plus humide on trouve des sols acides (par exemple montré par M. Doumbia pour quelques sols à la station de Cinzana). Aussi les sols dégradés de l'Office du Niger sont acides dans la surface. Dans le laboratoire à Sotuba on peut déterminer le taux de Al et alors la saturation en Al: en principe il faut le déterminer dans tous les sols avec un $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) < 5.5$ ou $\text{pH}(\text{KCl}) < 4.5$.

L'action de l'eau normalement neutralise automatiquement l'acidité dans les sols irrigués, comme dans l'Office du Niger; dans quelques semaines le pH stabilise à environ 6.5-7.0. Néanmoins si le sol est très acide ($\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) < 4.5$), et s'il est très bas en matière organique ou en fer active, il peut duré plus longue, même quelques mois avant que le pH vienne au dessus le valeur 5 (Ponnamperuma 1966). Il y en a des sols dégradés dans l'Office du Niger où cette situation peut arriver. Il n'y a pas encore une caractérisation d'Al dans ces types de sols.

Brinkman (1970) a recherché un processus qui s'appelle "ferrolysis" dans la surface des sols alternativement humides et sèches. Dans telles sols il y a un destruction de l'argile et un abaissement du pH dans la surface par l'action de transformation dans les minérales causé par les altérations saisonniers du régime hydrique. Le résultat de cette dégradation sera un surface plus sableux et plus acide. C'est bien possible que un telle processus a eu lieu dans les sols dégradés de l'Office, par exemple dans les environnement du Kokry après une relativement longue période d'irrigation.

Le pH bas cause une diminution de la CEC, surtout cela de la matière organique. A la même temps la disponibilité de P et Mo est réduite et la fixation de N par la symbiose Rhizobium-légumineuse sera moins efficace. Aussi il y a plus d'absorption de SO₄. Dans les sols très acides et très altéré, des carences absolues de Ca sont possible, surtout chez les cultures sensible comme l'arachide.

Dans la recherche agronomique-pédologique la détermination d'Al dans ces sols acides et un étude des formes différentes en fer sont d'importance. Aussi c'est nécessaire d'étudier l'effet du PNT sur la saturation d'Al; est ce que une diminution d'Al-échangeable est causée par un fixation de P-Al permanent et est ce que ce P devra disponible dans l'avenir?

Tableau 7.1 Type de l'acidité et une estimation de la saturation en Al dans les sol maliens.

Mali-sud:

Sol	pH(KCl) moyen, 20-40 cm	Al-sat.(%), estimé	pH(KCl) minimum-moyen, 20-40 cm	Al-sat.(%), estimé
21	5.0	-	4.6	-
22	4.6	-	4.1	15
31	(4.0)	(25)	(3.9)	(>30)
32	4.5	-	4.2	10
33	(4.5)	-	?	?
34	4.7	-	4.4	5
35	4.0	15-25	3.8	>30
36	4.5	-	4.1	15
41	4.7	-	4.3	5
42	4.3-5.0*	0-5	4.0-4.4	5-25
43	5.1	-	5.0	-

Note: * sols argileux plus acides que les sols sableux.

Office du Niger:

Sol	pH(KCl), 20-40 cm	estimation d'Al-saturation (%)
Dian	3.8 - 7.0	**
Moursi	3.8 - 7.2	**
Danga	4.0 - 7.3	*
Danga-Seno	4.2 - 6.2	*

Note: * Al-toxicité possible en cas de dégradation avec pH(KCl) < 4.3.
 ** Al-toxicité probable en cas de dégradation avec pH(KCl) < 4.3.

7.2. INTERPRETATIONS DES DONNEES ANALYTIQUES

7.2.1. SOL

7.2.1.1. Classification d'aluminium saturation dans le sol.

Une indication de l'acidité d'un sol est mesurée dans le laboratoire par le pH dans une proportion de sol:eau de 1:2.5; une deuxième pH est déterminé dans une solution sol:KCl avec la même proportion.

L'aluminium est déterminé par l'extraction avec 1 M KCl; une titration donne l'acidité échangeable (Al+H). Un autre titration indique la quantité de Al. Cette méthode n'était pas précis dans le laboratoire à Sotuba. Une méthode avec N2O était trop dangereuse. Maintenant on utilise le module Al sur le nouveau appareil de Skalar.

La toxicité d'aluminium est aussi exprimée comme la saturation du complexe absorbant (CEC) par l'aluminium. Une meilleure expression de la saturation d'Al, mesurée comme le rapport Al/(Ca+Mg+K+Na+(Al+H)), tous en taux échangeable (me/100 sol), donnera souvent une bonne relation avec l'effet sur le rendement. Le profondeur de 20-40 cm est pris parce que la saturation soit souvent maximale à cette profondeur dans le sol, directement sous l'horizon A.

Tableau 7.2.

Aluminium-saturation, 20-40 cm de profondeur, mesuré comme Al/somme cations+Al+H.

Très haute	Haute	Moyenne	Basse	Très basse
> 60	40-60	25-40	10-25	< 10 %

7.2.1.2. Relation de la saturation en Al et le pH du sol.

La relation entre le pH et la toxicité d'aluminium a été étudié seulement dans quelques sols du Mali. Telles relations sont spécifiques par type de sol. En général, un seuil critique sera le pH(KCl) de 4.3, préférablement mesuré dans la sous-surface (20-40 cm).

Tableau 7.3

Sols minérales:	pH(KCl) 1:2.5									
	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7
Al-saturation (%) minimal :	20	15	10	5	5	-	-	-	-	-
moyen :	>30	>30	25	15	10	5	5	-	-	-
maximal :	>40	>30	>30	>20	>20	20	10	5	5	-

Sols organiques: le niveau critique est plus bas que dans les sols minérales; le niveau critique de pH(H₂O) est environs 4.7/5.0 .

7.2.1.3. Sensibilité des cultures pour une toxicité de Al, exprimé comme Al-saturation, dans le sol.

Tableau 7.4

Culture	LIMITATION DE TOXICITE comme mesuré par Al-saturation (Al/somme cations + Al) (en %)				
	Rien	Modéré	Marginal	Grave	Très grave
				(Maximum Al-saturation tolérable)	(Plante morte)
Arachide	<10/30	10/30-30/(40)	30/(40)-(65)?	(65)-(80)?	>(80)?
Blé	<10-20/45****	10-20/45 - 20/60	20/60-45/60	>45/60	>(60)?
Canne à sucre	<5/20	5/20-40	40-40/60	40/60-80	>80
Coton	<5/10	5/10-10	10-40?	>40?	>(40)?
Mais	<15/35***	15/35-20/45	20/45-45/(70)	>45/(70)	>(70)?
Mil	<(20)?	(20-40)?	?	(40-60)?	>(60)?
Niébé	<25	25-27	27-(40)	40-70)?	>(70)?
Riz	<15-25/70*	15-25/70-30/70?	30/70?-45/80?	>80?	>(90)?
Soja	< 5-10/25*****	5-10/25 - 10/35	10/35-40	>40	>(40)?
Sorgho	<15-40/70**	>15-40/70	(40-70)?	(70-80)?	>(80)?

() ou ? : incertain.

/ : écart entre variétés, localités ou des autres circonstances.

* : taux moyenne 50 %; pour des variétés pluviales il y a une réponse au chaulage avec Al-saturation > 15/20 %.

** : > 15% Al-saturation il y a une réponse au chaulage; variétés normales acceptent jusqu'à 40 % Al-saturation.

*** : réponse au chaulage > 15 % Al-saturation.

**** : réponse au chaulage > 10 % Al-saturation; variétés normales acceptent jusqu'à 20 % Al-saturation.

***** : réponse au chaulage > 10 % Al-saturation; variétés normales < 10 Al-saturation.

7.2.1.4. Sensibilité des cultures pour une toxicité d'Al, exprimé comme Al-concentration, dans le sol.

Tableau 7.5

Culture	LIMITATION DE TOXICITE comme mesuré par Al-concentration (ppm) (sol ou solution du sol)		
	Rien	Modéré	Marginal
Arachide	-	-	> 50/60
Blé	> 9/135	9/135 - (195/300)	(>195/300)
Canne à sucre, dépendant de ECEC (me/100 g sol):			
ECEC = 2 :	< 270	270 - 540	> 540
4	< 360	360 - 630	> 630
6	< 450	450 - 720	> 720
8	< 540	540 - 810	> 810
Coton	-	-	> 25
Mais	-	-	90, >120/130
Riz	-	180	1260
Soja	(9-90)	(63-198)	(> 72), 63-144, 90, 261.
Sorgho	-	-	63

7.2.1.5. Chaux et chaulage

Pour améliorer un sol acidifié il faut augmenter le pH et neutraliser l'aluminium. La pratique du chaulage est bien connue en l'Europe, mais en Afrique la disponibilité de la chaux est souvent un problème. Les quantités nécessaires sont grandes et les frais de transport sont considérables. La chaux est efficace dans la partie de carbonate (CO₃) ce que augmente le pH. Enlever le pH(H₂O) un peu au dessus le valeur de 5.0 normalement suffit. Trop de chaux cause des problèmes à l'autre côté de l'échelle du pH (déficience de B, Cu, Fe, Zn).

Il y a quelques sources de la chaux au Mali:

- Ucema (usine céramique, Bamako) utilise la chaux dolomitique du Diamou (Kayes).
- 30 km de Hombari, avec une bonne composition (Ca-Mg), mais pas exploité.
- Fanina, dans la zone de Dioila, avec une composition variable et relativement beaucoup de Mg, pas exploité.
- Il y a des autres collines dans la zone Bamako-Fana-Sikasso dans une formation géologique qui s'appelle grès de Kignan-Sotuba-Sikasso (sur la carte géologique "Formations gréseuse avec intercalations schisto-dolomitiques-Précambrien A"). Une colline avec un source de calcaire près de Denderesso, nord-est de Sikasso, était pas exploitable.

La quantité de la chaux nécessaire pour neutraliser l'aluminium échangeable est environs 1.5-2 t CaCO₃-équivalent/ha par me Al-échangeable (Sanchez 1976, Kamprath 1986) pour la plupart des sols tropicaux. Cette quantité résulte dans un pH de 5.5 et éliminera presque toute la toxicité d'aluminium. Il n'y a pas beaucoup d'expérience avec le chaulage dans les sols maliens et donc la recherche doit déterminer l'effet d'un chaulage dans les tous les types de sols et les zones agro-écologiques relevantes. L'effet d'un chaulage peut prendre plus d'un an avant être clair; la première année l'effet pourrait être un peu négatif. La combinaison chaux+fumier semble d'être la plus efficace.

La qualité de la chaux ("valeur neutralisante") est mesuré par l'action de HCl et un titration pour déterminer combien de l'acide est nécessaire pour neutraliser la chaux; une combinaison avec CaCO₃-pure donne une indication de la qualité de la chaux. Dans la recherche il faut déterminer l'efficacité de chaque type de la chaux, soit l'origine et la composition, soit la finesse et la solubilité.

Plus de recherche est nécessaire concernant la chaux pour:

- Trouver des sources de bonne composition et exploitable dans la partie sud du Mali-sud.
- Rechercher la quantité de la chaux effective par type de sol, zone, culture plus ou moins l'application des autres apports comme la fumure organique et le PNT.

L'action neutralisante du Al par la fumure et la matière organique n'est pas bien connu, mais il paraît que cet effet est important pour les sols du Mali-sud. Il y a des autres effets clairs de la fumure organique:

- action microbiologique-physique dans la surface du sol.
- action chimique, surtout N,P,K et S et peut-être quelques micro-éléments.

Cependant, dans un sol acide avec une certaine toxicité d'Al chez une culture sensitive comme le coton, l'action d'une dose de quelques tonnes de la fumure ou matière organique par hectare a souvent prouvé d'être efficace. Il semble que cette action montre que l'Al est absorbé par la matière organique. A l'autre côté l'action du fumier sur l'acidité (c'est à dire le pH) est faible (augmentation de seulement 0.1-0.3 unités pH(H₂O) par 5 t/ha fumier).

L'action du PNT sur l'acidité et la toxicité d'Al est différente de la fumure ou matière organique. L'effet neutralisant sur le pH est mesuré à 20 % de CaCO₃-pure. C'est un effet faible, mais deux à trois fois l'action du fumier. De plus, et plus importante, est l'action du côté de phosphore. Dans des conditions acides le P dans le PNT sera faiblement plus disponible et formera Al-phosphate. Cette action neutralise l'Al. Par ce fait une partie de P du PNT est fixée.

Maintenant DRSPR-Sikasso a deux essais à Koutiala et Fonebougou pour comparer pendant 4 ans l'action de quelques combinaisons de la chaux, fumure organique et PNT sur un rotation avec coton sur les sols acides.

7.2.2. PLANTE

Les niveaux critiques dans les feuilles ne sont pas tellement relevant, car ils ne sont pas directement toxiques. Cependant le taux d'aluminium dans la plante peut donner une indication d'une imbalance entre les éléments nutritifs causée par une toxicité d'Al.

7.2.2.1. Sensibilité des cultures pour une toxicité d'Al dans la plante.

Tableau 7.6

Culture	LIMITATION DE TOXICITE mesuré comme taux de Al (ppm) dans la partie indiquée de la plante			Partie de la plante; stade de croissance
	Rien	Modéré	Marginal	
Arachide	< 200	(> 200)	-	Feuille adulte la plus jeune près d'apex; (pré-floraison).
Blé	< 200	(> 200)	-	La limbe de la feuille près d'apex; pré floraison.
Coton	< 200	-	> 200	Partie aérienne ou la feuille adulte la plus jeune près d'apex; pré floraison (ou "42 JAS).
Mais	< 200	(> 400 ou > 400)		Le tiers central de la feuille de l'épi; le début de la dessiccation des soies.
Riz	< 300	(> 300 ou > 300)		Partie aérienne; tallage.
Soja	< 30	> 30	-	Feuilles adultes les plus jeunes; stade ?
Sorgho	(< 200/220)	> 200/220	-	Feuille adulte la plus jeune ou la 3 eme feuille sous l'épi; stade 3-6.

7.3. RECOMMANDATIONS

7.3.1. Niveau BAS des apports

7.3.1.1. PAR ZONE L'acidification ou la dégradation chimique sera plus intensive dans les zones du sud. Cette intensité est estimée par zone en manière relative, suivante: lorsque on prend la zone Soudan-Nord comme niveau de référence de 1, les autres zones seront: Soudan-Sud II 1.9, Soudan-Sud I 4.4, Guinée-Nord I+II 6.3, c'est à dire environ six fois plus d'acidification dans le sud.

7.3.1.2. PAR SOL La différence en l'intensité de dégradation chimique entre les types de sol est moins claire. Théoriquement les sols de types 1, 33, 36, 43 et surtout 34, 41 et 42 (-sableux) au Mali-sud seront les sols avec un danger d'acidification. Cependant les données analytiques disponibles montrent que le sol 35 soit le plus acide.

Mali-sud:

21: (PNT, fumure organique).

22: (Fumure organique et PNT).

31: PNT, gestion de résidu.

32: (Fumure organique).

33: Fumure organique, dolomite, PNT.

34: Fumure organique.

35: PNT.

36: Fumure organique.

41: (Fumure organique et PNT).

42: Dépendant la texture:

- sableux: PNT.

- limoneux: (chaux/dolomite + PNT + fumure organique).

- argileux: PNT + fumure organique.

43: Fumure organique (+ PNT).

7.3.1.3. PAR LIMITATION BASE SUR L'INTERPRETATION ANALYTIQUE ET PAR CULTURE

Taux bas: Application régulière de la fumure organique ou compost pour neutraliser l'acidification.

Mais: surtout sur les sols 35 dans les zones Soudan-Nord II et Guinea-Sud I.

Soja: surtout sur les sols 32 et 33.

Taux moyen: Application de la fumure organique en quantités maximales est très important pour améliorer la fertilité du sol. Investissement d'une quantité de la chaux et/ou PNT, si possible, est à conseiller.

Arachide: surtout sur les sols 33 et 35.

Coton: surtout sur les sol 31 dans la zone Guinée-Nord I et les sols 33, 35 et 36.

Mil: surtout sur les sols 33 et 35.

Niébé: surtout sur les sols 35.

Riz pluvial: surtout sur les sols 35 dans la zone Guinée-Nord I et II.

Soja: surtout sur les sols 35.

Taux haut (grave): Sur les sols sableux on peut changer vers des cultures plus permanentes (paturage, arbres (bois de feu) ou des cultures plus adaptées (manioc, niébé). En cas des sols plus limoneux ou argileux, si les frais d'aménagement seront trop élevées, on peut changer vers des cultures plus adaptées (riz, niébé, mil, café, ananas, prairie mixte herbes/legumineuses).

Coton: surtout sur les sols 35.

Taux très haut (très grave): Il faut chercher une usage adapte qui n'a pas besoin des apports chers.

7.3.2. Niveau HAUT des apports

7.3.2.1. PAR ZONE L'acidification ou la dégradation chimique sera plus intensive dans les zones du sud. Cette intensité est estimée par zone en manière relative, suivante: lorsque on prend la zone Soudan-Nord comme niveau de reference de 1, l'intensité des autres zones seront: Soudan-Sud II 1.9, Soudan-Sud I 4.4, Guinée-Nord I+II 6.3, c'est à dire environ six fois plus d'acidification dans le sud.

7.3.2.1. PAR SOL La différence en l'intensité de dégradation chimique entre les types de sol est moins claire. Théoriquement les sols de types 1, 33, 36, 43 et surtout 34, 41 et 42 (-sableux) au Mali-sud seront les sols avec un danger d'acidification. Cependant les données analytiques disponibles montrent que le sol 35 soit le plus acide.
Il faut rechercher si un traitement de 15 g Mo/ha donnera une réponse aux légumineuses sur des sols acides ($\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) < 6$).

Mali-sud:

- 21: (PNT, fumure organique).
- 22: plus besoin que le sol 21 (chaux, PNT ou fumure organique).
- 31: (PNT).
- 32: partiellement PNT (aussi bon la fumure organique).
- 33: dolomite et PNT.
- 34: PNT, dose normal.
- 35: chaux ou PNT (contre l'Al).
- 36: PNT normal; chaulage régulièrement.
- 41: Chaulage régulièrement; PNT supplémentaire.
- 42: Proportion de dolomite et PNT, dépendant la texture:
 - sableux: forte dose de PNT.
 - limoneux: demi-dolomite, demi-PNT.
 - argileux: 2/3 dolomite, 1/3 PNT.
- 43: rien.

7.3.2.3. PAR LIMITATION BASE SUR L'INTERPRETATION ANALYTIQUE ET PAR CULTURE

Taux bas: Il y a un problème de toxicité d'aluminium, ce qui n'est pas encore grave; un dosage légère de la chaux (500 kg/ha) ou de la fumure organique (5 t/ha) sera utile.

Coton: pour cette culture il faut faire un chaulage jusqu'à $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ de 6.0, c'est à dire un peu plus que les autres cultures. Le chaulage est nécessaire surtout sur les sols 33 et dans la zone Guinée-Nord I le sol 35.

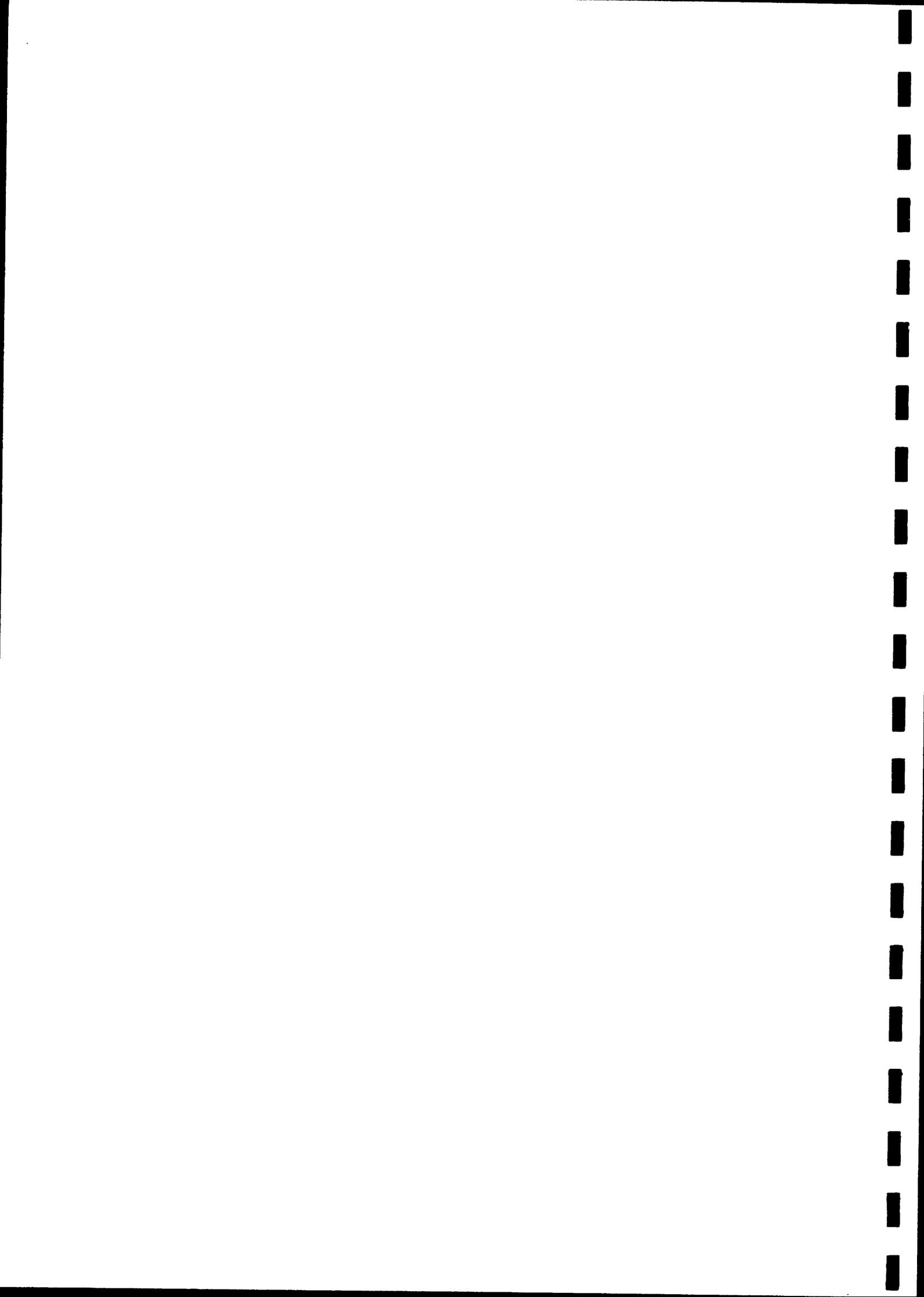
Niébé: surtout sur les sols 32.

Soja: surtout sur les sols 35.

Taux moyen: Un problème de toxicité d'aluminium, ce qui demande une solution sérieuse par un chaulage (1-2 t/ha) chaque 5 ans, préférablement appliqué sur une légumineuse. Application de la fumure organique (10 t/ha) sera très efficace et peut remplacer une partie de la chaux. L'action du PNT sera trop lente, surtout en relation avec de la chaux; le PNT doit être appliqué 2 ans après la chaux, aussi préférablement sur une légumineuse.

Taux haut (grave): Il existe un problème grave, ce qui demande un redressement du sol, surtout le sous-sol. Il faut décider si on voudrait améliorer la parcelle en vue des frais d'aménagement. L'aménagement inclue un chaulage fort et une application d'une forte dose de la fumure organique, un labour du sous-sol, une application forte de PNT et une jachère pendant quelques années. Il faut savoir que les rendements après l'aménagement seront assez élevés pour rembourser les dépenses d'aménagement.

Taux très haut (très grave): C'est mieux de laisser cette parcelle pour un usage sans frais; il sera mieux d'utiliser les apports disponibles dans une façon plus efficace ailleurs.



ANNEXES

- I. Zones agro-écologiques, Mali-sud.
- II. Typologie des sols, Mali-sud et corrélation avec types des sols PIRT.
- III. Typologie des sols de l'Office du Niger.
- IV. Caractérisation de contraintes des sols.
- V. Aptitudes des sols.
- VI. Tableau de conversion.
- VII. Bilans des éléments nutritifs:
 - Coton-maïs-sorgho.
 - Arachide-mil-mil.
 - Riz irrigué.
- VIII. Types de prélèvements des plantes.
- IX. Bibliographie.

Annex I

Zones agro-écologiques ou climatiques.
(après PIR 1982, 1986; projet Sol/eau/plante 1995, 1997;
Dent Agro-Mec Rapport annuel 1998).

Zone Soudan-nord Précipitation annuel 500-700 mm.

- incidentiel dans 2 par 10 ans 90-105 jours.
- Facteur R, intensité du pluviométrie: 375.
- Surface 597.000 ha (5 % du Mali-sud).

Zone Soudan-sud II Précipitation annuel 600-900 mm.

- incidentiel dans 2 par 10 ans 90-105 jours.
- Facteur R, intensité du pluviométrie: 425.
- Surface 1.786.000 ha (15 % du Mali-sud).

Zone Soudan-sud I Précipitation annuel 900-1100 mm.

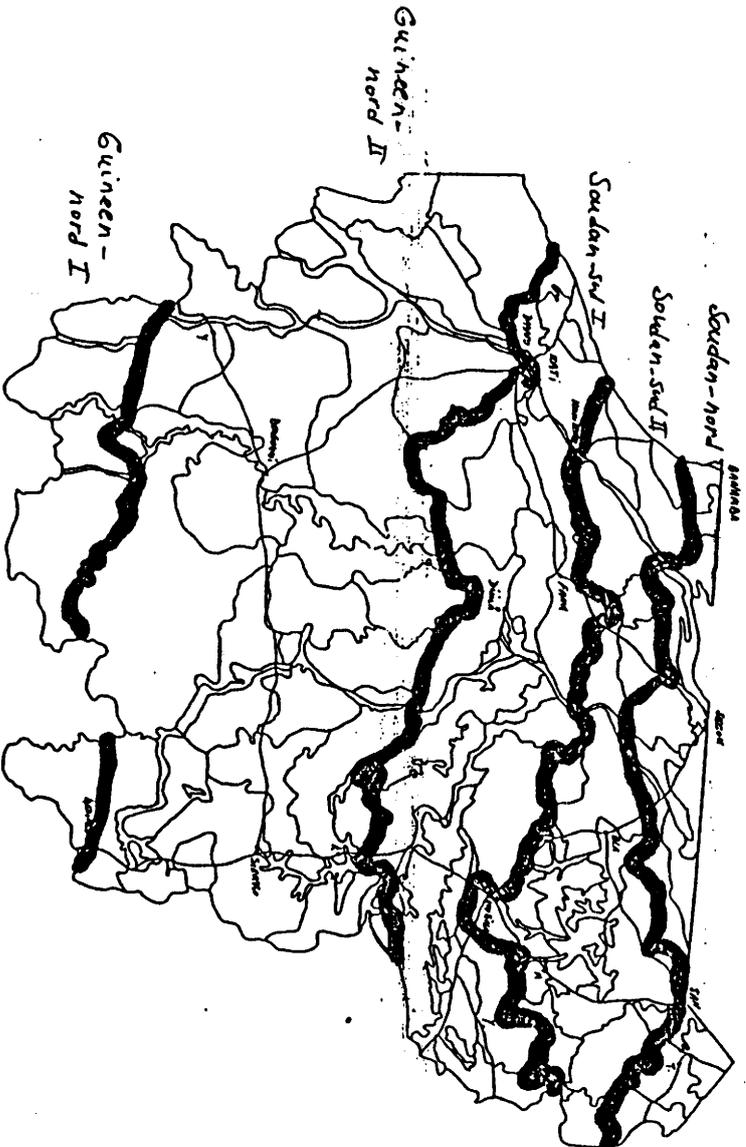
- incidentiel dans 2 par 10 ans 105-120 jours.
- Facteur R, intensité du pluviométrie: 475.
- Surface 2.990.000 ha (25 % du Mali-sud).

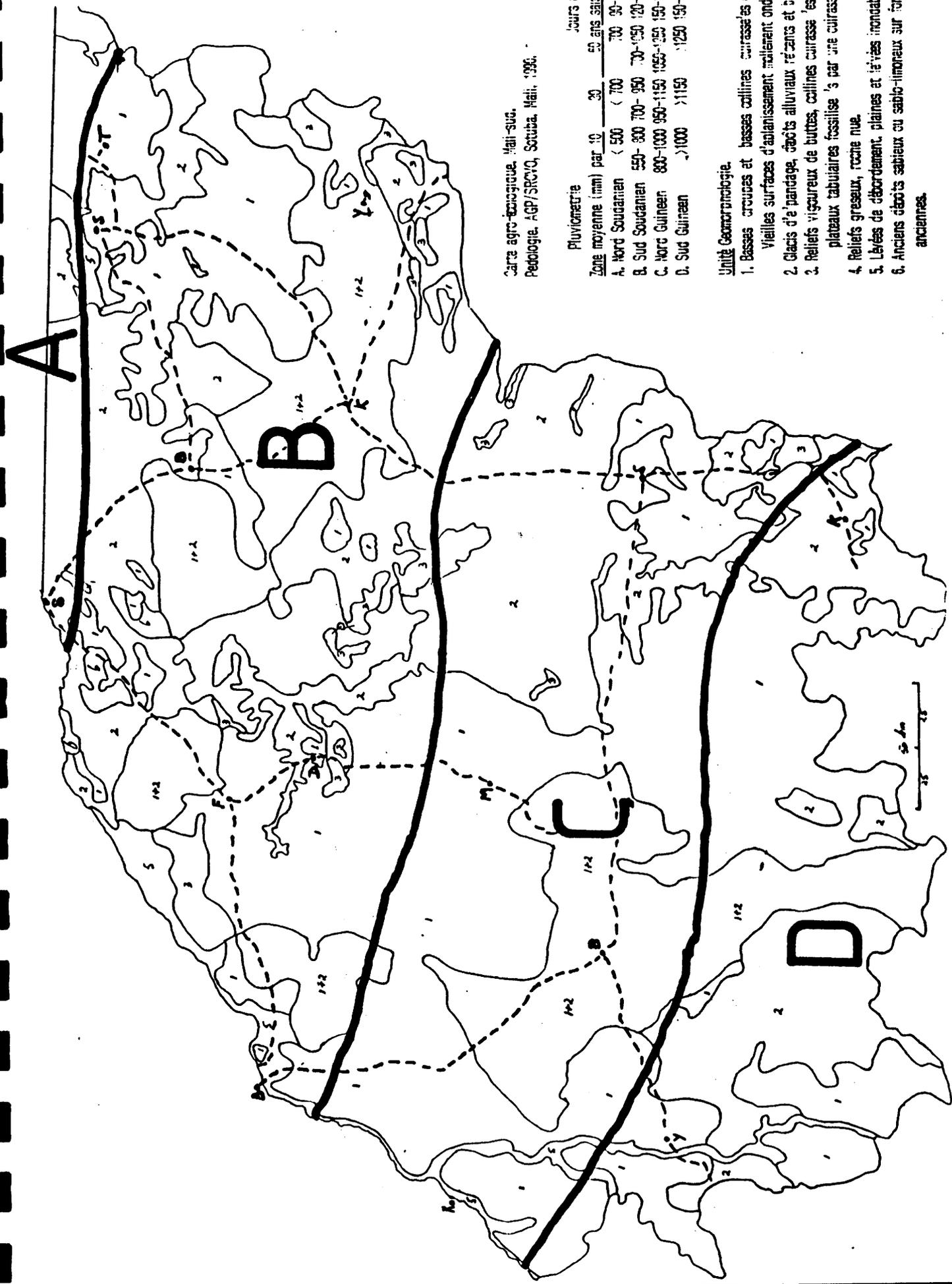
Zone Guinée-nord II Précipitation annuel 1000-1300 mm.

- incidentiel dans 2 par 10 ans 120-150 jours.
- Facteur R, intensité du pluviométrie: 600.
- Surface 5.892.000 ha (49 % du Mali-sud).

Zone Guinée-nord I Précipitation annuel 1200-1400 mm.

- incidentiel dans 2 par 10 ans 150-170 jours.
- Facteur R, intensité du pluviométrie: 750.
- Surface 789.000 ha (7 % du Mali-sud).





Carte agro-écologique, Mali-sud.
 Pédologie. AGP/SRCVQ, Sotuba, Mali, 1996.

Pluviométrie		Jours an				
Zone	moyenne (mm)	par 10	30	50	ans	saïson
A.	Nord Soudanien	< 500	< 700	700	90-120	
B.	Sud Soudanien	550-900	700-950	700-1050	120-150	
C.	Nord Guinéen	800-1000	950-1150	1050-1250	150-190	
D.	Sud Guinéen	>1000	>1150	>1250	150-190	

Unité Géomorphologique.

1. Basses crues et basses collines cuirassées ou carapacées.
 Vieilles surfaces d'aplanissement mollement ondulées.
2. Glacis d'épandage, ébats alluviaux récents et basses plaines.
3. Reliefs vigoureux de buttes, collines cuirassées ou con et de plateaux tabulaires fossilisés par une cuirasse.
4. Reliefs grasses, rocaille nue.
5. Lévées de débordement, plaines et terres inondables.
6. Anciens ébats sabieux ou sablo-limoneux sur formes alluviales anciennes.

Annex II.

TYPOLOGIE DES SOLS DU MALI-SUD

Sols des plateaux et buttes cuirassés (moyen glaciaire).

1. Sols peu profonds (< 25 cm), directement sur cuirasse ou carapace. (Lithic Ustorthent; Regosol, Lithosol; Sols minéraux bruts).

Sols des glacis versants.

21. Sols moyennement profonds (25-50 cm) à recouvrement gravillonnaires (% gravillons > 20, 0-40 cm), sur cuirasse, sur le haut versant (Petroferric Kandic? Ustalf-Ustult; Ferric Acrisol-Luvisol; Sols peu évolués).

2.1.1. Type modale.

2.1.2. Type hydromorphe.

22. Sols moyennement profonds ou profonds (> 25 cm), rouges ou rougeâtres, recouvrement meuble d'origine colluviale, limoneux-argileux, non ou peu gravillonnaires, sur alterite (cuirasse altérée) au-dessus grès, sur le haut versant relativement court; tendance ferrallitique. (Petroferric Kandic? Ustalf-Ustult; Haplic Acrisol-Luvisol; Sols peu évolués).

Sols des bas glacis, sols plus profonds, pentes faibles.

31. Sols avec le sous-sol (50-100 cm) indurés ou contenant roche-mère altérée entre 1.0 m de profondeur; sols transitionnaires entre le glacis versants et le bas glacis. (Petroferric Kanhaplustalf; Ferric Acrisol; Sols ferrugineux tropicaux indurés).

Sols non-indurés ou sans matériaux originaux altérés dans 1.0 m de profondeur (versants relativement longues):

Haute versant, pente souvent > 1 %; sols ferrugineux tropicaux lessivés; couleur rougeâtre ou brun:

Sols non-appauvris (% argile > 18, 25-50 cm), (CEC 0-40 cm > 4 me/100 g sol):

32. Sols peu désaturés (saturation de bases > 50 %, 25-50 cm), rougeâtres, souvent sableux à surface, sur le haut versant (Ultic Kanhaplustalf; Haplic Luvisol; Sols ferrugineux tropicaux lessivés).

3.2.1. Sols sableuse à surface (S,SL).

3.2.2. Sols limoneuse à surface (LS,LAS).

33. Sols désaturés (saturation de bases < 50 %, 25-50 cm), rougeâtres, 2.5-7.5 YR, limoneux ou limono-sableux, sur le haut versant (Oxic Haplustalf; Haplic Acrisol; Sols ferrugineux tropicaux lessivés).

3.3.1. Type modale.

3.3.2. Type à pseudogley.

3.3.3. Type à taches et concrétions.

(Annex II)

34. Sols appauvris, sableux ou tronqué (saturation de bases < 50 %, acide, CEC < 4 me/100 g sol (25-50 cm)), surface riche en sable grossière ou profile tronqué; sols d'origine eolienne. (Oxic Haplustalf; Haplic Acrisol; Sols ferrugineux tropicaux lessivés appauvris).

3.4.1. Sols appauvris, sous-sol limoneuse.

3.4.2. Sols d'origine eolienne, sableuse fines; dunes érodés; régime hydrauliques particulaire.

Bas versant, plaine, terrasse alluviales:

35. Sols du plaine, non-hydromorphes (nappe > 50 cm), beiges ou bruns (Oxic Haplustult; Ferric-Gleyic Acrisol; Sols ferrugineux tropicaux lessivés).

3.5.1. Sols de bourrelet de berges ou d'apport alluvial.

3.5.1.1. Sols de bourrelets de berges; sols modaux ou hydromorphes à profondeur; sols peu évolués ou sols ferrugineux tropicaux lessivés ou appauvris:

3.5.1.1.1. Type sableuse ou limono-sableuse (% argile < 18, 25-50 cm).

3.5.1.1.2. Type limoneuse ou limono-argileuse (% argile > 18, 25-50 cm).

3.5.1.2. Sols peu évolués d'apport alluvial sableuse.

3.5.2. Sols du plaine.

3.5.2.1. Sols sableux-limoneux (< 35 % argile, 25-50 cm):

3.5.2.1.1. Type modale.

3.5.2.1.2. Type à taches et concrétions.

3.5.2.2. Sols argileux (> 35 % argile, 25-50 cm):

3.5.2.2.1. Type modale.

3.5.2.2.2. Type à taches et concrétions.

36. Sols du plaine, hydromorphes (nappe temporaires, 25-75 cm); sols grises à taches et concrétions., grises (Plinthic-Plinthaquic Kanhaplustult; Gleyic Acrisol; Sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes ou Sols peu évolués à pseudogley).

Sols de vallées, bas-fonds, dépressions et des plaines alluviales.

41. Sols grises, transitionnaires entre le plaine/bas-glacis et le bas-fonds avec des inondations temporaires ou saisonnières. (Aquic or Plinthaquic Kanhaplustult; Dystric Gleysol; Sols hydromorphes minéraux à (pseudo) gley).

4.1.1. Sols alluvionnaires hydromorphes, grises, limoneux-argileux, sur terrasse alluviale; au bord des fleuves grandes (Bani).

4.1.2. Sols à gley et à concrétions, limoneux.

(Annex II)

42. Sols des bas-fonds et des vallées, hydromorphes à gley, amphigley ou pseudogley avec un engorgement pendant une période moyenne; nappe < 25 cm saisonnière. (Typic Tropaqualf-Tropaquept; Dystric-Eutric Gleysol; Sols hydromorphes minéraux à (pseudo) gley de profondeur et à engorgement de surface).

4.2.1. Sols à pseudogley, à cuirasse ou carapace entre 50 cm de profondeur; limoneuse ou limono-argileuse, souvent recouvrement sableuse.

4.2.2. Sols profonds à gley:

4.2.2.1. Type sableuse.

4.2.2.2. Type limoneuse.

4.2.2.3. Type argileuse.

43. Sols de dépressions, avec un engorgement de longue durée et une inondation pendant quelques semaines ou mois; nappe < 25 cm semi-permanente ou permanente. (Typic Tropaquept; Umbric-Eutric Gleysol; Sols hydromorphes minéraux ou peu humifères).

4.3.1. Sols hydromorphes à gley réduit d'ensemble, argileux:

4.3.1.1. Type tendance verticale.

4.3.1.2. Type tendance non-verticale.

4.3.2. Sols tourbeux.

Correlation des types de sol avec les unités de PIRT.

<u>Unité principale</u>	<u>Unité détaillé</u>	<u>Unité PIRT</u>	<u>Unité principale</u>	<u>Unité détaillé</u>	<u>Unité PIRT</u>
1	1	TC5	35	35111, 35112,)	
21	211, 212	TC3, TC4, TC6 (50%)		3512, 35211,) 35212, 35221,)	PA1, PL11
22	22	TC6 (50%)		35222)	
31	31	TC7	36	36	PL9, PL10
32	321, 322)		41	411, 412	TH3, TH7
33	331, 332,) 333)	PL13 (67%)	42	421, 4221,) 4222, 4223)	
34	341, 342	PL13 (33%)	43	4311, 4312,) 432)	TI3

Annex III.

TYPOLOGIE DES SOLS DE L'OFFICE DU NIGER (tentative)

LEVEES

- Sols avec drainage bon, sableux (2-10 % argile en surface, 15-30 % d'argile en profondeur), beige ou ocre clair, d'origine dunaire (éolien-fluviatile), **SENO**:
 - Type normal, Seno.
 - Type salin (-alcalin), Seno fing?
- Sols avec drainage modéré-imparfait, sableux-limoneux, parfois gravillonnaire (5-35 % argile en surface, 25-50 % argile, peu ou clairement taches ou gravillonnaires ferrugineux en profondeur, beige ocre - ocre rouge, **DANGA**:
 - Type sableuse, transition entre Seno et Danga, taches blanches?, Danga-Seno ou Danga blé sableuse.
 - Type normal, peu alcaline-salin; beige, sablo-limoneux; très dur en saison sèche; microrelief; Danga I.
 - Type sodique, peu salin, très alcalin; taches noires ("black alkali"); taches blanches?, pH très élevé (9-10); EC peu élevé en surface; SAR, ESP très élevé; gravillons à profondeur; carence en Zn et P?; microrelief; Danga blé I.
 - Type gravillonnaire, souvent érodé avec une surface très dur, compact, problème d'engorgement, ruissellement, Danga blé II.
 - Type dégradé, acide (pH(KCl) 0-20 cm < 4.5), friable en surface, structure du sous-sol compact, transition à Dian; Danga II.

DEPRESSIONS, CUVETTES

- Sols avec drainage pauvre, argileux-limoneux (argile > 30 % en surface, argileux > 50 % en profondeur), rarement avec des nodules calcaires, bruns, fentes de retrait, **DIAN**.
 - Type normale, brun, argilo-limoneux, très compact; problème de drainage; Dian I.
 - Type dégradé, surface acidifié, planosolique ?; problème de drainage; Dian II.
 - Type fortement dégradé, surface acide, pH(KCl) 4.1-4.9 ??; ferrolysis; problème de drainage; Planosol?; Dian III.
 - Type peu alcalin; très argileux, structure compact partout, crevassé, tendance verticale, SAR élevé; problème de drainage; Dian-Moursi, Dian pere.
- Sols avec drainage très pauvre, argileux (> 50 % argile) avec des nodules calcaires nombreux, noirs, fentes de retrait; position de dépression, **MOURSI**:
 - Type normal, peu alcalin, noir, souvent friable en surface, largement crevassé, tendance verticale, structure sous sol compact, SAR élevé; Moursi I.
 - Type alcalin, pH 8-9, pH élevé surtout dans le sous sol; structure sous sol compact; problème de drainage; SAR/ESP élevé, 3-10 %; P-carence, fixation; carence en Zn; carence en K?; Moursi II.
 - Type dégradé, sol surface acidifié; friable en surface; structure sous sol compact, planosolique?; problème de drainage; Moursi III.
 - Type fortement dégradé, sol de surface acide pH(KCl) 4.4-4.5 ??; ferrolysis; problème de drainage; structure sous sol compact; Planosol?; souvent humifère; peu ou non salin; bon sol pour le riziculture; Moursi IV.
- Sols de transition entre Dian et Boi: sols beige-noirâtres, humifères, riche en limon, surface dur en saison sèche; au voisinage des mares ou des marigots (surtout la zone Macina), **DANGA**:
 - Type normal, Danga fing.
- Sols avec drainage pauvre-très pauvre, limoneux, humifères, **BOI**:
 - Type normal, gris ardoisé, limoneux, compact, pouvant être crevassé; fond de mare; Boi.
 - Type noir, limono-argileux, généralement friable en surface, riche en humus, non crevassé; Boi fing.
 - Type ocre, avec nombreuses taches ocres, ferrugineuses; généralement fond de mare ou de marigots; Boi blé.

Annex IV. Les characteristics des constraints ("ratings") des sols du Mali-sud et l'Office du Niger.

Mali-sud								
Type sol	Drainage interne	Engorgement surface	Erosion hasard	Surface gravill.	Surface tr.sable	Surface lourde	Sous-sol gravill.	Profondeur du sol
1	1	1	3	3	-	-	3	3
21	1	1	3	3	-	-	3	2
22	-	-	2	-	-	-	1	2
31	1	-	2	-	-	-	3	1
32	1	-	1	-	1?	-	-	-
33	1	-	1	-	-	-	-	-
34	1	-	2	-	-	-	-	-
35	1	1	1	-	-	-	-	-
36	1(2?)	1	2	-	-	-	-	1.
41	2	2	2	-	-	(1)	-	-
42	3	2	-	-	-	var.(-)	-	-
43	3	3	-	-	-	var.(1)	-	-

Mali-sud								
Type sol	Disponibilité d'eau	Rétention elem. nut.	Acidité Al-tox.	Car. P	Car. N	Car. K	Car. Ca	Car. Mg
1	3	3	?	?	-	-	-	-
21	2	2	-	3	1?	-	-	-
22	2	1	1	3	2	-	-	-
31	1	var.(-)	1(2)	3	-	1	-	-
32	-	1	1	3	-	-	-	-
33	-	2	(2)	3	(1)	(1)	2	(1)
34	1	3	(1)	3	1	-	-	-
35	-	var.(-)	3	3	2	-	-	-
36	-	var.(1)	1	3	1	-	-	-
41	-	2	(1)	3	-(1)	-	1	-
42	-	var.(1)	1(2)	2	2	-	-	(1)
43	-	var.(-)	-	1	-	(1)	-	-

Office du Niger			
Type sol	Car. P*	Car. N	Car. K
Dian	3	-	2
Moursi	3	-	2
Danga	3	1	1
Danga-Seno	3	2	1

Note *: inclu fixation-P.

(basé sur l'atlas du PIRT et quelques études morpho-pédologiques de la SRCVO).

Explication:

Constraints, rating: - = Rien.

1 = Modéré.

2 = Marginal.

3 = Grave.

Drainage interne: - = bon; 1 = moyen; 2 = imparfait; 3 = mauvaise.

Engorgement de surface: - = < quelques heures; 1 = quelques heures jusqu'à un jour; 2 = deux jusqu'à quatorze jours; 3 = plus que deux semaines.

Erosion hasard: estimation qualitative.

Gravillonnaires dans le sol de surface (%): - = < 10; 1 = 10-35; 2 = 35-70; 3 = > 70.

Surface trop sableuse: - sablo-limoneuse ou plus lourde; 1 = sableuse.

Surface lourde: - = non-tendance verticale; 1 = tendance verticale.

Gravillonnaires dans le sous-sol:

	1	2	3
Profondeur (cm), 25-50 cm:	<35%	35-70%	>70%
50-100 cm:	<70%	>70%	-

Profondeur du sol (cm): - = >100; 1 = 50-100; 2 = 25-50; 3 = <25 et corrigé pour la profondeur du sols et le taux de gravillonnaires.

Disponibilité d'eau: estimation en mm/m: - = >100; 1 = 80-100; 2 = 60-80; 3 = <60.

Rétention des éléments nutritifs (CEC)(me/100 g sol, sous-surface): - = >10; 1 = 7-10; 2 = 4-7; 3 = <4.

Acidité, Al-toxicité (% , 20-40 cm):

	1	2	3
Moyen:	-	0-25	15-25
Maximal:	-	10-15	15-25 >30

Carence en phosphore (P)(ppm, Bray 2, 0-20 cm): - = > 15; 1 = 10; 2 = 4-6; 3 = 1-2.

Carence en azote (N): détermination en relation avec pH, voir l'interprétation N.

Carence en potassium (K): détermination en relation avec le CEC, voir l'interprétation K.

Carence en calcium (Ca)(me/100 g sol, 0-20 cm): - = >2; 1 = 1-2; 2 = <1.

Carence en magnésium (Mg)(me/100 g sol, 0-20 cm): - >0.8; 1 = 0.6-0.7.

(Annex V)

Zone: SOUDAN-NORD SOUDAN-SUD II SOUDAN-SUD I GUINEEN-NORD II GUINEEN-NORD IAPTITUDE POUR LE MAIS

Sol Niveau de gestion:	Bas		Haut		Bas		Haut		Bas		Haut		Bas		Haut	
	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr
1 Sol/cuirassé	N de	N d	N de	N d	N de	N d	N de	N d	N de	N d	N de	N d	N de	N d	N de	N d
21 Sol très gravillon.	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg
22 Sol peu profonde	-	-	-	-	-	-	-	-	N d	N d	N d	N d	N d	N d	N d	N d
31 Sol induré	-	-	-	-	-	-	-	-	N d	N d	S3 defr	S3 dr	-	-	-	-
32 Sol peu désaturé	S3 df	S3 d	S2 efr	S2 r	S2 efr	S2 r	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33 Sol désaturé	-	-	S3 cfr	S3 r	S3 cfr	S3 r	S3 cfr	S3 r	S3 cfr	S3 r	-	-	-	-	-	-
34 Sol appauvri	S3 dfr	S3 dr	S3 efr	S3 r	S3 efr	S3 r	S3 efr	S3 r	S3 efr	S3 r	-	-	-	-	-	-
35 Sol plaine non-hyd.	S3 df	S3 d	S2 adefnw	S2 d	S2 aefnw	S1 -										
36 Sol plaine hydrom.	S3 ef	S2 eor	S3 ef	S2 eor	S3 ef	S2 eor	S3 ef	S2 eor	S3 ef	S2 eor	S3 ef	S2 eor	S3 ef	S2 eor	S3 ef	S2 eor
41 Sol transitionair	N w	S3 rw	N w	S3 rw	N w	S3 rw	N w	S3 rw	N w	S3 rw	-	-	-	-	-	-
42 Sol de bas-fonds	-	-	N ow	N o	N ow	N o	N ow	N o	N ow	N o	-	-	-	-	-	-
43 Sol de dépression	-	-	N ow	N ow	N ow	N ow	N ow	N ow	N ow	N ow	-	-	-	-	-	-

APTITUDE POUR LE SORGHO

Sol Niveau de gestion:	Bas		Haut													
	cl	contr														
1 Sol/cuirassé	N degp	N dgp														
21 Sol très gravillon.	N deg	N dg														
22 Sol peu profonde	-	-	-	-	-	-	-	-	N d	N d	S3 de	S3 d	S3 de	S3 d	S3 de	S3 d
31 Sol induré	-	-	-	-	-	-	-	-	S3 def	S3 d	S3 ef	S2 de	S3 ef	S2 de	S3 ef	S2 de
32 Sol peu désaturé	S2 ef	S1 -	S2 ef	S1 -	S2 ef	S1 -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33 Sol désaturé	-	-	S2 cef	S1 -	S2 cef	S1 -	S2 cef	S1 -	S2 cef	S1 -	-	-	-	-	-	-
34 Sol appauvri	S3 ef	S2 de	S3 ef	S2 e	-	-	-	-	-	-						
35 Sol plaine non-hyd.	S2 ef	S1 -														
36 Sol plaine hydrom.	S3 ef	S2 eo														
41 Sol transitionair	S3 ef	S2 eo	-	-	-	-	-	-								
42 Sol de bas-fonds	-	-	S3 of	S3 o	-	-	-	-	-	-						
43 Sol de dépression	-	-	N w	S3 ow	-	-	-	-	-	-						

APTITUDE POUR LE MIL

Sol Niveau de gestion:	Bas		Haut		Bas		Haut		Bas		Haut		Bas		Haut	
	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr								
1 Sol/cuirassé	N degp	N dgp	N degp	N dgp	N degp	N dgp	N degp	N dgp								
21 Sol très gravill.	N deg	N dg	N eg	S3 deg												
22 Sol peu profonde	-	-	-	-	-	-	-	-	S3 def	S3 d	S3 ef	S2 dep	S3 ef	S2 dep	S3 ef	S2 dep
31 Sol induré	-	-	-	-	-	-	-	-	S3 ef	S2 de	S3 ef	S2 e	S3 ef	S2 e	S3 ef	S2 e
32 Sol peu désaturé	S2 ef	S1 -	S2 ef	S1 -	S2 ef	S1 -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33 Sol désaturé	-	-	S2 acef	S1 -	S2 acef	S1 -	S2 acef	S1 -	S2 acef	S1 -	-	-	-	-	-	-
34 Sol appauvri	S3 ef	S2 e	-	-	-	-	-	-								
35 Sol plaine non-hyd	S2 aefw	S2 a	S2 aefw	S2 a	S2 aefw	S2 a	S2 aefw	S2 a								
36 Sol plaine hydrom.	S3 ef	S2 eo	S3 ef	S2 eo	S3 ef	S2 eo	S3 ef	S2 eo								
41 Sol transitionaire	N w	S3 w	-	-	-	-	-	-								
42 Sol de bas-fonds	-	-	N ow	N o	-	-	-	-	-	-						
43 Sol de dépression	-	-	N ow	N ow	-	-	-	-	-	-						

Annex V. L'extension et l'aptitude pour la production durable des différentes cultures .

EXTENSION

Zone:	SOUDAN-NORD		SOUDAN-SUD II		SOUDAN-SUD I		GUINEEN-NORD II		GUINEEN-NORD I	
Pluiosité annuel(mm):	500-700		600-900		800-1100		1000-1300		1200-1400	
No.jours par saison:	100-120		120-135		135-150		150-170		>170	
Type Total ha.:	597.000		1.796.000		2.980.000		5.802.000		788.000	
sol Estimation:	ha.1000	(%)	ha.1000	(%)	ha.1000	(%)	ha.1000	(%)	ha.1000	(%)
1 Sol/cuirassé	16	3	323	18	929	31	1328	23	190	24
21 Sol très gravillon.	79	13	532	30	543	18	396	17	126	16
22 Sol peu profonde	-	-	-	-	-	-	978	17	125	16
31 Sol induré	-	-	-	-	-	-	718	12	138	17
32 Sol peu désaturé	128	21	150	8	20	1	-	-	-	-
33 Sol désaturé	-	-	17	1	12	1	37	1	-	-
34 Sol appauvri	64	11	78	4	16	1	19	-	-	-
35 Sol plaine non-hyd.	40	7	53	3	370	12	965	15	112	15
36 Sol plaine hydrom.	39	6	400	22	605	20	112	2	27	3
41 Sol transitionair	73	12	33	2	17	1	10	-	-	-
42 Sol de bas-fonds	-	-	35	2	17	1	99	2	-	-
43 Sol de dépression	-	-	4	-	1	-	8	-	-	-
Divers	159	27	155	9	450	15	633	11	70	9

APTITUDE POUR LE COTON

Sol Niveau de gestion:	Bas		Haut		Bas		Haut		Bas		Haut		Bas		Haut	
	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr
1 Sol/cuirassé	N de	N d	N de	N d	N de	N d	N de	N d	N de	N d	N de	N d	N de	N d	N de	N d
21 Sol très gravillon.	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg
22 Sol peu profonde	-	-	-	-	-	-	-	-	H d	N d	N d	N d	N d	N d	-	-
31 Sol induré	-	-	-	-	-	-	-	-	N d	N d	S3	adef	S3	d	-	-
32 Sol peu désaturé	S3 dft	S3 dt	S3 f	S2 ot	S3 f	S2 o	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33 Sol désaturé	-	-	S3 af	S2 ao	-	-	-	-	-	-						
34 Sol appauvri	S3 de	S3 de	S3 ef	S2 eor	-	-	-	-	-	-						
35 Sol plaine non-hyd.	S3 adf	S3 d	S3 af	S2 ao	S3 af	S2 ao	S3 af	S2 ao	-	-						
36 Sol plaine hydrom.	S3 efc	S3 o	S3 efc	S3 o	S3 efo	S3 o	S3 aefo	S3 o	-	-						
41 Sol transitionair	N w	S3 ow	N w	S3 ow	N w	S3 ow	N w	S3 ow	N w	S3 ow	-	-	-	-	-	-
42 Sol de bas-fonds	-	-	N ow	N o	-	-	-	-	-	-						
43 Sol de dépression	-	-	N ow	-	-	-	-	-	-							

Explication:

Niveau de gestion:

Bas = sans contrôle contre l'érosion, sans culture sur billon, sans chaulage, peu de fumure organique.

Haut = avec contrôle contre l'érosion, culture sur billon si nécessaire, avec un chaulage régulière et une fertilisation annuel (N,P,K) (ou fumure organique).

cl = classe d'aptitude (FAO 1976):

S1 = bien apte, S2 = moyennement apte, S3 = marginalement apte et N = impropre.

contr = contraint limitantes:

a = trop d'aluminium saturation, sol trop acide; c = carence en calcium; d = disponibilité insuffisante d'eau; e = risque d'érosion; f = carence en phosphore; g = trop de gravillonnaires dans la surface du sol; h = trop de gravillonnaires dans le sous-sol; k = carence en potasse; m = carence en magnesium; n = carence en azote; o = drainage interne barré; p = sol pas assez profonde; r = capacité rétention élément nutritifs réduite; t = texture du surface trop sableuse ou trop argileuse; w = engorgement temporaire du surface.

(Annex V)

Zone: SOUDAN-NORD SOUDAN-SUD II SOUDAN-SUD I GUINEEN-NORD II GUINEEN-NORD I

APTITUDE POUR L'ARACHIDE

Sol Niveau de gestion:	Bas		Haut		Bas		Haut		Bas		Haut		Bas		Haut	
	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr
1 Sol/cuirasse	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg
21 Sol très gravill.	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg
22 Sol peu profonde	-	-	-	-	-	-	-	-	N d	N d	N d	N d	N d	N d	N d	N d
31 Sol induré	-	-	-	-	-	-	-	-	S3 ef	S2 deho	S3 ef	S2 eho	-	-	-	-
32 Sol peu désaturé	S2 efo	S2 o	S2 efo	S2 o	S2 efo	S2 o	S2 efo	S2 o	-	-	-	-	-	-	-	-
33 Sol désaturé	-	-	S2 acefo	S2 o	-	-	-	-	-	-						
34 Sol appauvri	S3 def	S3 d	S3 ef	S2 eo	-	-	-	-	-	-						
35 Sol plaine non-hyd.	S2 aefo	S2 o	S2 aefo	S2 o	S2 aefo	S2 o	S2 aefo	S2 o	S2 aefo	S2 o	S2 aefo	S2 o	S2 aefo	S2 o	S2 aefo	S2 o
36 Sol plaine hydrom.	S3 efo	S3 o	S3 efo	S3 o	S3 efo	S3 o	S3 efo	S3 o	S3 efo	S3 o	S3 efo	S3 o	S3 efo	S3 o	S3 efo	S3 o
41 Sol transitionair	S3 efow	S3 o	S3 efow	S3 o	S3 efow	S3 o	S3 efow	S3 o	S3 efow	S3 o	-	-	-	-	-	-
42 Sol de bas-fonds	-	-	N o	N o	N o	N o	N o	N o	N o	N o	-	-	-	-	-	-
43 Sol de dépression	-	-	N ow	N o	-	-	-	-	-	-						

APTITUDE POUR LE NIBBE

Sol Niveau de gestion:	Bas		Haut													
	cl	contr														
1 Sol/cuirasse	N degp	N dgp														
21 Sol très gravillon.	N deg	N dg														
22 Sol peu profonde	-	-	-	-	-	-	-	-	N d	N d	N d	N d	N d	N d	N d	N d
31 Sol induré	-	-	-	-	-	-	-	-	S3 ef	S2 de	S3 ef	S2 e	-	-	-	-
32 Sol peu désaturé	S2 ef	S1 -	-	-	-	-	-	-	-	-						
33 Sol désaturé	-	-	S2 cefm	S1 -	S2 cefm	S1 -	S2 cefm	S1 -	S2 cefm	S1 -	-	-	-	-	-	-
34 Sol appauvri	S3 def	S2 e	S3 ef	S2 e	-	-	-	-	-	-						
35 Sol plaine non-hyd.	S2 aefw	S2 a														
36 Sol plaine hydrom.	S3 ef	S2 eo														
41 Sol transitionair	N w	S3 w	-	-	-	-	-	-								
42 Sol de bas-fonds	-	-	N w	S3 ow	-	-	-	-	-	-						
43 Sol de dépression	-	-	N w	N w	N w	N w	N w	N w	N w	N w	-	-	-	-	-	-

APTITUDE POUR LE RIZ

Sol Niveau de gestion:	Bas		Haut		Bas		Haut		Bas		Haut		Bas		Haut	
	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr	cl	contr
1 Sol/cuirasse	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg
21 Sol très gravillon.	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg	N deg	N dg
22 Sol peu profonde	-	-	-	-	-	-	-	-	N d	N d	N d	N d	N d	N d	N d	N d
31 Sol induré	-	-	-	-	-	-	-	-	S3 def	S3 d	S3 def	S2 de**	-	-	-	-
32 Sol peu désaturé	N d	N d	N d	N d	S3 ef	S3 d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33 Sol désaturé	-	-	N d	N d	S3 df	S3 d	S2 ef(*)	S1 -(*)	-	-	-	-	-	-	-	-
34 Sol appauvri	N d	N d	N d	N d	N de	N d	S3 ef	S2 e(*)	-	-	-	-	-	-	-	-
35 Sol plaine non-hyd.	N d	N d	N d	N d	S3 df	S3 d	S2 aef(*)	S1 -(*)	S2 aef*	S1 -*	-	-	-	-	-	-
36 Sol plaine hydrom.	N d	N d	N d	N d	S3 def	S3 d	S3 ef	S2 e(*)	S3 ef*	S2 e*	-	-	-	-	-	-
41 Sol transitionair	S3 def	S3 d	S3 ef	S2 e	S3 ef	S2 e	S3 ef	S2 e*	-	-	-	-	-	-	-	-
42 Sol de bas-fonds	-	-	S1/S2 (f)	S1 -	S1/S2 (f)	S1 -	S1/S2 (f)	S1 -	-	-	-	-	-	-	-	-
43 Sol de dépression	-	-	S1/S2 (t)	S1 -	S1/S2 (t)	S1 -	S1/S2 (t)	S1 -	-	-	-	-	-	-	-	-

(Note: * riz paddy ou riz pluvial; ** spécifiquement le riz pluvial; (*) incertain).

Annex VI. Conversion de contraintes vers une classe d'aptitude (adapté de FAO 1976 et Veldkamp 1987).

Contraint	Niveau gestion	COTON				MAIS				SORGHO				MIL			
		Aptitude: S1	S2	S3	N	S1	S2	S3	N	S1	S2	S3	N	S1	S2	S3	N
Drainage interne	bas +																
	haut:	0	1	2	3	1	2	2	3	1	2	3	3	1	2	2	3
Engorgement surf	bas:	0	1	1	2	0	1	1	2	1	2	2	3	0	1	1	2
	haut:	1	1	2	3	1	1	2	3	2	2	3	3	1	1	2	3
Erosion hasard	bas:	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
	haut:	1	2	3	3	1	2	3	3	1	2	3	3	1	2	3	3
Gravill. surface	bas +																
	haut:	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
Surf.trop sableuse	bas +																
	haut:	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Surface lourde	bas +																
	haut:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Gravill. sous-sol	bas +																
	haut:	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Profondeur sol	bas +																
	haut:	1	2	3	3	1	2	3	3	1	2	2	3	1	2	2	3
Longueur saison*	bas +																
	haut:	>135	90-135	90-90	<80	>135	95-135	75-95	<75	>105	75-105	60-75	<60	>105	55-105	45-55	<45
Rétention élém.nut.	bas +																
	haut:	2	3	3	3	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Acidité Al-tox.	bas:	1	2	3	3	1	3	3	3	2	3	3	3	1	3	3	3
	haut:	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Carence P	bas:	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
	haut:	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Carence N	bas:	1	2	3	3	1	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3
	haut:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Carence K	bas:	0	1	3	3	0	1	3	3	1	3	3	3	1	3	3	3
	haut:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Carence Ca	bas:	1	2	3	3	0	1	2	3	1	2	3	3	1	2	3	3
	haut:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Carence Mg	bas:	1	3	3	3	1	2	3	3	1	3	3	3	1	3	3	3
	haut:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Deficience de precipitation:																	
somme R+A **:		<10	10	10	10	<15	15	17	18	<18	19	18	19	<19	-	19	20

(Annex VI)

Contraint	Niveau gestion	ARACHIDE				NIEBE				RIZ				CANNE A SUCRE			
		S1	S2	S3	H	S1	S2	S3	N	S1	S2	S3	N	S1	S2	S3	N
Drainage interne	bas +																
	haut:	0	1	2	3	1	2	3	3	3	3	3	3	1	2	3	3
Engorge-ment surf	bas:	1	1	2	3	0	1	1	2	3	3	3	3	2	2	3	3
	haut:	1	2	3	3	1	1	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3
Erosion hasard	bas:	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3				
	haut:	1	2	3	3	1	2	3	3	1	2	3	3	1	2	3	3
Gravill. surface	bas +																
	haut:	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	1	2	2	2
Surf. trop sableuse	bas +																
	haut:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	2
Surface lourde	bas +																
	haut:	1	1	1	1	1	1	1	1	0*	1	1	1	1	1	1	1
Gravill. sous-sol	bas +																
	haut:	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	1	3	3
Profon- deur sol	bas +																
	haut:	1	2	3	3	1	2	2	3	2	2	3	3	1	2	2	3
Longueur saison*	bas +																
	haut:	>105	65-105	60-65	<60	>95	65-95	60-65	<60	>105	75-105	65-75	<65	>300	270-300	200-270	<200
---sous irrigation---																	
Rétention élém. nut.	bas +																
	haut:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	2	3	3
Acidité Al-tox.	bas:	0	1	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3				
	haut:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Carence P	bas:	1	3	3	3	0	1	3	3	1	3	3	3				
	haut:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Carence N	bas:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
	haut:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Carence K	bas:	0	1	3	3	0	1	3	3	1	3	3	3				
	haut:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Carence Ca	bas:	0	1	2	3	1	2	3	3	2	3	3	3				
	haut:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Carence Mg	bas:	1	3	3	3	0	1	3	3	1	3	3	3				
	haut:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Deficience de precipitation; somme R+A **:		<17	17	17	18	<18	-	18	19	19*	9*	10*	12*	Pas relevant sous irrigation.			

(* riz pluvial: pas relevant sous irrigation).

(Annex VI)

Contraint	Niveau gestion	SOJA			
		S1	S2	S3	N
Drainage interne	bas +				
	haut:	1	2	3	3
Engorge- ment surf	bas:	1	1	2	3
	haut:	1	2	2	3
Erosion hasard	bas:	0	1	2	3
	haut:	1	2	3	3
Gravill. surface	bas +				
	haut:	0	1	2	3
Surf.trop sableuse	bas +				
	haut:	0	1	2	2
Surface lourde	bas +				
	haut:	0	1	1	1
Gravill. sous-sol	bas +				
	haut:	0	1	3	3
Profon- deur sol	bas +				
	haut:	1	2	2	3
Longueur saison*	bas +				
	haut:	>110	90-110	80-90	<80
Rétention élém.nut.	bas +				
	haut:	2	3	3	3
Acidité Al-tox.	bas:	0	2	3	3
	haut:	3	3	3	3
Carence P	bas:	1	2	3	3
	haut:	3	3	3	3
Carence N	bas:	2	3	3	3
	haut:	3	3	3	3
Carence K	bas:	0	1	3	3
	haut:	3	3	3	3
Carence Ca	bas:	1	2	3	3
	haut:	3	3	3	3
Carence Mg	bas:	1	3	3	3
	haut:	3	3	3	3
Déficience de précipitation;					
somme R+A **:		<16	-	16	17

Explication: * Longueur du saison: cette longueur est déterminé par la zone agro-écologique, avec une correction pour la disponibilité d'eau dans le sol, la profondeur du sol, le taux de gravillonnaires dans le sous-sol et le drainage interne (basé sur Veldkamp 1987). Par zone: Soudan-nord - 100 jours; Soudan-sud II - 120 jours; Soudan-sud I - 135 jours; Guineen-nord II - 150 jours; Guineen-nord I - 170 jours.

** Déficience de précipitation: cette déficience est déterminé par la zone agro-écologique et avec une correction pour la disponibilité d'eau dans le sol et le drainage interne (basé sur Veldkamp 1987). Par zone: Soudan-Nord - 15; Soudan-Sud II - 12; Soudan-Sud I - 9; Guineen-Nord II - 4; Guineen-Nord I - 1.



Annex VII. Rotation COTON-MAIS-SORGHO. Bilan de l'azote.

N	RENDEMENTS FAIBLES				RENDEMENTS ELEVES			
	Litière pas exportée		Litière exportée		Litière pas exportée		Litière exportée	
Coton-mais-sorgho	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve
COTON								
Minéralisation sol	16	2484	16	2484	16	2484	16	2484
Min. mat. org.	13	-13	13	-13	13	-13	13	-13
Fumure organique	20	30	20	30	20	30	20	30
Engrais	44	0	44	0	44	0	44	0
Precipitation	6	0	6	0	6	0	6	0
Pertes, érosion 2t	-0.4	-7.6	-0.4	-7.6	-0.4	-7.6	-0.4	-7.6
Pertes, érosion 10t	-2	-29.8	-2	-29.8	-2	-29.8	-2	-29.8
Pertes, lixiviation	-44	0	-44	0	-44	0	-44	0
Fixation N	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	54.6	2493.4	54.6	2493.4	54.6	2493.4	54.6	2493.4
Bilan 10t-érosion	53	2471.2	53	2471.2	53	2471.2	53	2471.2
Exportation	38	0	60	0	53	0	90	0
Bilan annuel-2t ér.	16.6	2493.4	0	2493.4	1.6	2493.4	0	2493.4
Bilan annuel-10t ér.	15	2471.2	0	2471.2	0	2471.2	0	2471.2
MAIS								
Minéralisation sol	16	-16	16	-16	16	-16	16	-16
Min. mat. org.	13	-13	13	-13	13	-13	13	-13
Fumure organique	0	0	0	0	0	0	0	0
Engrais	23	0	23	0	23	0	23	0
Precipitation	6	0	6	0	6	0	6	0
Pertes, érosion 2t	-0.4	-7.6	-0.4	-7.6	-0.4	-7.6	-0.4	-7.6
Pertes, érosion 10t	-2	-29.8	-2	-29.8	-2	-29.8	-2	-29.8
Pertes, lixiviation	-44	0	-44	0	-44	0	-44	0
Fixation N	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	30.2	2456.8	13.6	2456.8	15.2	2456.8	13.6	2456.8
Bilan 10t-érosion	27	2412.4	12	2412.4	12	2412.4	12	2412.4
Exportation	20	0	46	0	41	0	67	0
Bilan année2-2t ér.	10.2	2456.8	0	2456.8	0	2456.8	0	2456.8
Bilan année2-10t ér.	7	2412.4	0	2412.4	0	2412.4	0	2412.4
SORGHO								
Minéralisation sol	16	-16	16	-16	16	-16	16	-16
Min. mat. org.	13	-13	13	-13	13	-13	13	-13
Fumure organique	0	0	0	0	0	0	0	0
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	6	0	6	0	6	0	6	0
Pertes, érosion 2t	-0.4	-7.6	-0.4	-7.6	-0.4	-7.6	-0.4	-7.6
Pertes, érosion 10t	-2	-29.8	-2	-29.8	-2	-29.8	-2	-29.8
Pertes, lixiviation	-44	0	-44	0	-44	0	-44	0
Fixation N	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	0.8	2420.2	-9.4	2420.2	-9.4	2420.2	-9.4	2420.2
Bilan 10t-érosion	-4	2353.6	-11	2353.6	-11	2353.6	-11	2353.6
Exportation	21	0	30	0	31	0	47	0
Bilan année3-2t ér.	0	2420.2	0	2420.2	0	2420.2	0	2420.2
Bilan année3-10t ér.	0	2353.6	0	2353.6	0	2353.6	0	2353.6
Bilan total - 2t ér.		-79.8		-79.8		-79.8		-79.8
Bilan total - 10t ér.		-146.4		-146.4		-146.4		-146.4

(Annex VII). Rotation COTON-MAIS-SORGHO. Bilan de l'azote.

Rendements (kg/ha)	RENDEMENTS FAIBLES		RENDEMENTS ELEVES	
- Coton:	1500 grain+lint	1500;? litière	2000 grain+lint	2000; ? litière
- Mais:	1100 grain	1100;2600 litière	2200 grain	2200; 5000 litière
- Sorgho:	800 grain	800;2000 litière	1600 grain	1600; 3600 litière

Réserve en N dans le sol en début: 2500 kg N/ha/an (1 % Org. C, 0.1 % N-total, 0-20 cm).

Fumure organique (1% N) sur le coton 5 t/ha, chaque 3 ans. Coefficient d'utilisation pour N: 35 %.
_80 % sera disponible pendant la première année, 20 % pendant la deuxième année.

Engrais (kg/ha): Sur le coton - 150 complex coton (14 N, 22 P205, 12 K20, 8 S, 2 B); 50 uree (46 N).
Sur le maïs - 50 uree (46 N).
Sur le sorgho: pas d'engrais.
Coefficient d'utilisation: 100 % pour l'azote.

Taux de l'azote dans le sol: NH4-disponible - 5 ppm, mais il reste 2 ppm en Août.
NO3-disponible - 10 ppm, toute sera disparu en Août.
N-organique-disponible: matière organique 0-20 cm 1 %, 20-40 cm 0.3 %.
Matière organique avec 4 % N, minéralisation 1 % par an.

Pertes d'érosion - 2 t/ha/an: N-disponible 0.4 kg/ha/an; N-reserve 7.6 kg/ha/an.
- 10 t/ha/an: N-disponible 2 kg/ha/an; N-reserve 29.8 kg/ha/an.

Precipitation: 6 kg N/ha/an.

Lixiviation, lessivage: zone arachidière (Soudan-nord) - 18 kg N/ha/an.
zone cotonnière (Soudan-sud, Guinea-nord) - 44 kg N/ha/an.

Rotation COTON-MAIS-SORGHO. Bilan du phosphore.

P	RENDEMENTS FAIBLES				RENDEMENTS ELEVES			
	Litière pas exportée		Litière exportée		Litière pas exportée		Litière exportée	
Coton-mais-sorgho	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve
Mineralisation sol	0.4	499.6	0.4	499.6	0.4	499.6	0.4	499.6
Min. mat. org.	0.5	-0.5	0.5	-0.5	0.5	-0.5	0.5	-0.5
Fumure organique	6	4	6	4	6	4	6	4
Engrais	14	0	14	0	14	0	14	0
Precipitation	2	0	2	0	2	0	2	0
Pertes, érosion 2t	0	-1.3	0	-1.3	0	-1.3	0	-1.3
Pertes, érosion 10t	0	-3.8	0	-3.8	0	-3.8	0	-3.8
Pertes, lixiviation	0	0	0	0	0	0	0	0
Fixation P	-11.2	11.2	-11.2	11.2	-11.2	11.2	-11.2	11.2
Bilan 2t-érosion	11.7	513	11.7	513	11.7	513	11.7	513
Bilan 10t-érosion	11.7	510.5	11.7	510.5	11.7	510.5	11.7	510.5
Exportation	8	0	10	0	10	0	15	0
Bilan année 1 - 2t	3.7	513	1.7	513	1.7	513	0	513
Bilan année 1 - 10t	3.7	510.5	1.7	510.5	1.7	510.5	0	510.5
MAIS								
Mineralisation sol	1.52	-1.52	1.52	-1.52	1.52	-1.52	1.52	-1.52
Min. mat. org.	0.5	-0.5	0.5	-0.5	0.5	-0.5	0.5	-0.5
Fumure organique	0	0	0	0	0	0	0	0
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	2	0	2	0	2	0	2	0
Pertes, érosion 2t	0	-1.3	0	-1.3	0	-1.3	0	-1.3
Pertes, érosion 10t	0	-3.8	0	-3.8	0	-3.8	0	-3.8
Pertes, lixiviation	0	0	0	0	0	0	0	0
Fixation P	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	7.72	509.68	5.72	509.68	5.72	509.68	4.02	509.68
Bilan 10t-érosion	7.72	504.68	5.72	504.68	5.72	504.68	4.02	504.68
Exportation	3	0	6	0	6	0	9	0
Bilan année 2 - 2t	4.72	509.68	0	509.68	0	509.68	0	509.68
Bilan année 2 - 10t	4.72	504.68	0	504.68	0	504.68	0	504.68
SORGHO								
Mineralisation sol	1.52	-1.52	1.52	-1.52	1.52	-1.52	1.52	-1.52
Min. mat. org.	0.5	-0.5	0.5	-0.5	0.5	-0.5	0.5	-0.5
Fumure organique	0	0	0	0	0	0	0	0
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	2	0	2	0	2	0	2	0
Pertes, érosion 2t	0	-1.3	0	-1.3	0	-1.3	0	-1.3
Pertes, érosion 10t	0	-3.8	0	-3.8	0	-3.8	0	-3.8
Pertes, lixiviation	0	0	0	0	0	0	0	0
Fixation P	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	8.74	506.36	4.02	506.36	4.02	506.36	4.02	506.36
Bilan 10t-érosion	8.74	498.86	4.02	498.86	4.02	498.86	4.02	498.86
Exportation	2	0	6	0	4	0	8	0
Bilan année 3 - 2t	6.74	506.36	0	506.36	0.02	506.36	0	506.36
Bilan année 3 - 10t	6.74	498.86	0	498.86	0.02	498.86	0	498.86
Bilan total - 2 t		13.1		6.36		6.38		6.36
Bilan total - 10 t		5.6		-1.14		-1.12		-1.14

Rotation COTON-MAIS-SORGHO. Bilan du phosphore.

Rendements (kg/ha)	RENDEMENTS FAIBLES		RENDEMENTS ELEVES	
- Coton:	1500 grain+lint	1500;? litière	2000 grain+lint	2000; ? litière
- Mais:	1100 grain	1100;2600 litière	2200 grain	2200; 5000 litière
- Sorgho:	800 grain	800;2000 litière	1600 grain	1600;3600 litière

Réserve en P dans le sol en début: 500 kg P/ha (150 ppm P-total, 0-20 cm; 10 ppm 20-100 cm)

Fumure organique (0.2 % P) sur le coton 5 t/ha, chaque 3 ans. Coefficient d'utilisation pour P: 75 %.
 _80 % sera disponible pendant la première année, 20 % pendant la deuxième année.

Engrais (kg/ha): Sur le coton - 150 complex coton (14 N, 22 P205, 12 K20, 8 S, 2 B); 50 uree (46 N).
 Sur le maïs - 50 uree (46 N).
 Sur le sorgho: pas d'engrais.
 Coefficient d'utilisation: 100 % pour le phosphore.

Taux du phosphore dans le sol: 3 ppm P-assimilable (Bray 2).
 P-organique-disponible - 0.4 ppm P; 1 % matière org., 0.5 % P, minéralisation 1 %/an.

Pertes d'érosion - 2 t/ha/an: P-disponible 0 kg/ha/an; P-reserve 1.3 kg/ha/an.
 - 10 t/ha/an: P-disponible 0 kg/ha/an; P-reserve 3.8 kg/ha/an.

Precipitation: 2 kg P/ha/an.

Lixiviation, lessivage: zone arachidière (Soudan-nord) - 0 kg P/ha/an.
 zone cotonnière (Soudan-sud, Guinea-nord) - 0 kg P/ha/an.

Rotation COTON-MAIS-SORGHO. Bilan du potassium.

K	RENDEMENTS FAIBLES				RENDEMENTS ELEVES			
	Litière pas exportée		Litière exportée		Litière pas exportée		Litière exportée	
COTON	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve
Mineralisation sol	400	24600	400	24600	400	24600	400	24600
Min. mat. org.	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique	52	13	52	13	52	13	52	13
Engrais	18	0	18	0	18	0	18	0
Precipitation	4	0	4	0	4	0	4	0
Pertes, érosion 2t	-0.1	-7.4	-0.1	-7.4	-0.1	-7.4	-0.1	-7.4
Pertes, érosion 10t	-0.4	-58.2	-0.4	-58.2	-0.4	-58.2	-0.4	-58.2
Pertes, lixiviation	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
Fixation K	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	460.9	24605.6	460.9	24605.6	460.9	24605.6	460.9	24605.6
Bilan 10t-érosion	460.6	24554.8	460.6	24554.8	460.6	24554.8	460.6	24554.8
Exportation	12	0	33	0	22	0	55	0
Bilan année1-2t er.	448.9	24605.6	427.9	24605.6	438.9	24605.6	405.9	24605.6
Bilan année1-10t er.	448.6	24554.8	427.6	24554.8	438.6	24554.8	405.6	24554.8
MAIS								
Mineralisation sol	0	0	0	0	0	0	0	0
Min. mat. org.	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique	0	0	0	0	0	0	0	0
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	4	0	4	0	4	0	4	0
Pertes, érosion 2t	-0.1	-7.4	-0.1	-7.4	-0.1	-7.4	-0.1	-7.4
Pertes, érosion 10t	-0.4	-58.2	-0.4	-58.2	-0.4	-58.2	-0.4	-58.2
Pertes, lixiviation	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
Fixation K	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	439.8	24598.2	418.8	24598.2	429.8	24598.2	396.8	24598.2
Bilan 10t-érosion	439.2	24496.6	418.2	24496.6	429.2	24496.6	396.2	24496.6
Exportation	7	0	27	0	13	0	46	0
Bilan année2-2t er.	432.8	24598.2	391.8	24598.2	416.8	24598.2	350.8	24598.2
Bilan année2-10t er.	432.2	24496.6	391.2	24496.6	416.2	24496.6	350.2	24496.6
SORGHO								
Mineralisation sol	0	0	8.8	-8.8	0	0	49.8	-49.8
Min. mat. org.	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique	0	0	0	0	0	0	0	0
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	4	0	4	0	4	0	4	0
Pertes, érosion 2t	-0.1	-7.4	-0.1	-7.4	-0.1	-7.4	-0.1	-7.4
Pertes, érosion 10t	-0.4	-58.2	-0.4	-58.2	-0.4	-58.2	-0.4	-58.2
Pertes, lixiviation	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
Fixation K	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	423.7	24590.8	391.5	24582	407.7	24590.8	391.5	24541
Bilan 10t-érosion	422.8	24438.4	390.6	24429.6	406.8	24438.4	390.6	24388.6
Exportation	3	0	21	0	8	0	43	0
Bilan année3-2t er.	420.7	24590.8	370.5	24582	399.7	24590.8	348.5	24541
Bilan année3-10t er.	419.8	24438.4	369.6	24429.6	398.8	24438.4	347.6	24388.6
Bilan total - 2t er.		11.5		-47.5		-9.5		-110.5
Bilan total -10t er.		-141.8		-200.8		-162.8		-263.8

Rotation COTON-MAIS-SORGHO. Bilan du potassium.

Rendements (kg/ha)	RENDEMENTS FAIBLES		RENDEMENTS ELEVES	
- Coton:	1500 grains	_1500; ? litière	2000 grains	_2000; ? litière
- Mais:	1100 grains	_1100;2600 litière	2200 grains	_2200;5000 litière
- Sorgho:	800 grains	_ 800;2000 litière	1600 grains	_1600;3600 litière

Réserve en K dans le sol en début - non-échangeable: 25000 kg K/ha (0.5 % K-total, 0-40 cm).
 - échangeable: 400 kg K/ha (0.25 me K/100 g sol, 0-20 cm; 0.15, 20-40 cm).

Fumure organique (1.3 % K) sur le coton 5 t/ha, chaque 3 ans. Coefficient d'utilisation pour K: 100 %.
 _80 % sera disponible pendant la première année, 20 % pendant la deuxième année.

Engrais (kg/ha): Sur le coton - 150 complex coton (14 N, 22 P205, 12 K20, 8 S, 2 B) et 50 uree (46 N).
 Sur le maïs: - 50 uree (46 N).
 Sur le sorgho: - rien.
 Coefficient d'utilisation: 100 % pour la potasse.

Taux de la potasse dans le sol: K-échangeable 0-20 cm - 0.25 me/100 g sol.
 20-40 cm - 0.15 me/100 g sol.

Pertes d'érosion - 2 t/ha/an: K-disponible 0.1 kg/ha/an; K-reserve 7.4 kg/ha/an.
 - 10 t/ha/an: K-disponible 0.4 kg/ha/an; K-reserve 58.2 kg/ha/an.

Precipitation: 4 kg K/ha/an.

Lixiviation, lessivage: zone arachidière (Soudan-nord) - 6 kg K/ha/an.
 zone cotonnière (Soudan-sud, Guinea-nord) - 13 kg K/ha/an.

Rotation COTON-MAIS-SORGHO. Bilan du calcium.

Ca	RENDEMENTS FAIBLES				RENDEMENTS ELEVES			
	Litière pas exportée		Litière exportée		Litière pas exportée		Litière exportée	
COTON	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve
Mineralisation sol	3000	5000	3000	5000	3000	5000	3000	5000
Min. mat. org.	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique	20	30	20	30	20	30	20	30
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	20	0	20	0	20	0	20	0
Pertes, érosion 2t	-0.2	-8.6	-0.2	-8.6	-0.2	-8.6	-0.2	-8.6
Pertes, érosion 10t	-1	-15.9	-1	-15.9	-1	-15.9	-1	-15.9
Pertes, lixiviation	-35	0	-35	0	-35	0	-35	0
Fixation Ca	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	3004.8	5021.4	3004.8	5021.4	3004.8	5021.4	3004.8	5021.4
Bilan 10t-érosion	3004	5014.1	3004	5014.1	3004	5014.1	3004	5014.1
Exportation	2	0	16	0	5	0	21	0
Bilan annuel-2t er.	3002.8	5021.4	2988.8	5021.4	2999.8	5021.4	2983.8	5021.4
Bilan annuel-10t er.	3002	5014.1	2988	5014.1	2999	5014.1	2983	5014.1
MAIS								
Mineralisation sol	0	0	12	-12	1	-1	17	-17
Min. mat. org.	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique	0	0	0	0	0	0	0	0
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	20	0	20	0	20	0	20	0
Pertes, érosion 2t	-0.2	-8.6	-0.2	-8.6	-0.2	-8.6	-0.2	-8.6
Pertes, érosion 10t	-1	-15.9	-1	-15.9	-1	-15.9	-1	-15.9
Pertes, lixiviation	-35	0	-35	0	-35	0	-35	0
Fixation Ca	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	2987.6	5012.8	2985.6	5000.8	2985.6	5011.8	2985.6	4995.8
Bilan 10t-érosion	2986	4998.2	2984	4986.2	2984	4997.2	2984	4981.2
Exportation	2	0	8	0	3	0	13	0
Bilan année2-2t er.	2985.6	5012.8	2977.6	5000.8	2982.6	5011.8	2972.6	4995.8
Bilan année2-10t er.	2984	4998.2	2976	4986.2	2981	4997.2	2971	4981.2
SORGHO								
Mineralisation sol	16	-16	24	-24	19	-19	29	-29
Min. mat. org.	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique	0	0	0	0	0	0	0	0
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	20	0	20	0	20	0	20	0
Pertes, érosion 2t	-0.2	-8.6	-0.2	-8.6	-0.2	-8.6	-0.2	-8.6
Pertes, érosion 10t	-1	-15.9	-1	-15.9	-1	-15.9	-1	-15.9
Pertes, lixiviation	-35	0	-35	0	-35	0	-35	0
Fixation Ca	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	2986.4	4988.2	2986.4	4968.2	2986.4	4984.2	2986.4	4958.2
Bilan 10t-érosion	2984	4966.3	2984	4946.3	2984	4962.3	2984	4936.3
Exportation	2	0	8	0	3	0	13	0
Bilan année3-2t er.	2984.4	4988.2	2978.4	4968.2	2983.4	4984.2	2973.4	4958.2
Bilan année3-10t er.	2982	4966.3	2976	4946.3	2981	4962.3	2971	4936.3
Bilan total - 2t er.		-33.4		-48.4		-42.4		-41.8
Bilan total -10t er.		-51.7		-77.7		-56.7		-92.7

Rotation COTON-MAIS-SORGHO. Bilan du calcium.

Rendements (kg/ha)	RENDEMENTS FAIBLES	RENDEMENTS ELEVES
- Coton:	1500 grains _1500; ? litière	2000 grains _2000; ? litière
- Mais:	1100 grains _1100;2600 litière	2200 grains _2200;5000 litière
- Sorgho:	800 grains _ 800;2000 litière	1600 grains _1600;3600 litière

Réserve en Ca dans le sol: non-échangeable: 0.15 % Ca, 0-40 cm (estimé).
- échangeable: 3.0 me/100 g sol 0-20 cm; 2.0, 20-40 cm.

Fumure organique (1.0 % Ca) sur le coton 5 t/ha, chaque 3 ans. Coefficient d'utilisation pour Ca: 100 %.
_80 % sera disponible pendant la première année, 20 % pendant la deuxième année.

Engrais (kg/ha): Sur le coton - 150 complex coton (14 N, 22 P205, 12 K20, 8 S, 2 B) et 50 uree (46 N).
Sur le maïs: - 50 uree (46 N).
Sur le sorgho: - rien.

Pertes d'érosion - 2 t/ha/an: Ca-disponible 0.2 kg/ha/an; Ca-reserve 8.6 kg/ha/an.
- 10 t/ha/an: Ca-disponible 1.0 kg/ha/an; Ca-reserve 15.9 kg/ha/an.

Precipitation: 20 kg Ca/ha/an.

Lixiviation, lessivage: zone arachidière (Soudan-nord) - 25 kg Ca/ha/an.
zone cotonnière (Soudan-sud, Guinea-nord) - 35 kg Ca/ha/an.

Rotation COTON-MAIS-SORGHO. Bilan du magnésium.

Mg	RENDEMENTS FAIBLES				RENDEMENTS ELEVES			
	Litière pas exportée		Litière exportée		Litière pas exportée		Litière exportée	
Coton-mais-sorgho	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve
COTON								
Minéralisation sol	760	19240	760	19240	760	19240	760	19240
Min. mat. org.	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique	24	6	24	6	24	6	24	6
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	2	0	2	0	2	0	2	0
Pertes, érosion 2t	-0.1	-2.2	-0.1	-2.2	-0.1	-2.2	-0.1	-2.2
Pertes, érosion 10t	-0.3	-3.4	-0.3	-3.4	-0.3	-3.4	-0.3	-3.4
Pertes, lixiviation	-20	0	-20	0	-20	0	-20	0
Fixation Mg	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	765.9	19243.8	765.9	19243.8	765.9	19243.8	765.9	19243.8
Bilan 10t-érosion	765.7	19242.6	765.7	19242.6	765.7	19242.6	765.7	19242.6
Exportation	3	0	8	0	5	0	10	0
Bilan annuel-2t er.	762.9	19243.8	757.9	19243.8	760.9	19243.8	755.9	19243.8
Bilan annuel-10t er.	762.7	19242.6	757.7	19242.6	760.7	19242.6	755.7	19242.6
MAIS								
Minéralisation sol	0	0	2.3	-2.3	0	0	4.3	-4.3
Min. mat. org.	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique	0	0	0	0	0	0	0	0
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	2	0	2	0	2	0	2	0
Pertes, érosion 2t	-0.1	-2.2	-0.1	-2.2	-0.1	-2.2	-0.1	-2.2
Pertes, érosion 10t	-0.3	-3.4	-0.3	-3.4	-0.3	-3.4	-0.3	-3.4
Pertes, lixiviation	-20	0	-20	0	-20	0	-20	0
Fixation Mg	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	744.8	19241.6	742.1	19239.3	742.8	19241.6	742.1	19237.3
Bilan 10t-érosion	744.4	19239.2	741.7	19236.9	742.4	19239.2	741.7	19234.9
Exportation	2	0	6	0	3	0	10	0
Bilan année2-2t er.	742.8	19241.6	736.1	19239.3	739.8	19241.6	732.1	19237.3
Bilan année2-10t er.	742.4	19239.2	735.7	19236.9	739.4	19239.2	731.7	19234.9
SORGHO								
Minéralisation sol	17.6	-17.6	24.3	-24.3	20.6	-20.6	28.3	-28.3
Min. mat. org.	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique	0	0	0	0	0	0	0	0
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	2	0	2	0	2	0	2	0
Pertes, érosion 2t	-0.1	-2.2	-0.1	-2.2	-0.1	-2.2	-0.1	-2.2
Pertes, érosion 10t	-0.3	-3.4	-0.3	-3.4	-0.3	-3.4	-0.3	-3.4
Pertes, lixiviation	-20	0	-20	0	-20	0	-20	0
Fixation Mg	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	742.3	19221.8	742.3	19212.8	742.3	19218.8	742.3	19206.8
Bilan 10t-érosion	741.7	19218.2	741.7	19209.2	741.7	19215.2	741.7	19203.2
Exportation	2	0	7	0	3	0	15	0
Bilan année3-2t er.	740.3	19221.8	735.3	19212.8	739.3	19218.8	727.3	19206.8
Bilan année3-10t er.	739.7	19218.2	734.7	19209.2	738.7	19215.2	726.7	19203.2
Bilan total - 2t er.		-37.9		-51.9		-41.9		-65.9
Bilan total -10t er.		-42.1		-56.1		-46.1		-70.1

Rotation COTON-MAIS-SORGHO. Bilan du magnésium.

Rendements (kg/ha)	RENDEMENTS FAIBLES		RENDEMENTS ELEVES	
- Coton:	1500 grains	_1500; ? litière	2000 grains	_2000; ? litière
- Mais:	1100 grains	_1100;2600 litière	2200 grains	_2200;5000 litière
- Sorgho:	800 grains	_ 800;2000 litière	1600 grains	_1600;3600 litière

Réserve en Mg dans le sol: 0.4 % Mg, 0-40 cm (estimé).
- échangeable: 1.2 me Mg/100 g sol 0-40 cm.

Fumure organique (0.6 % Mg) sur le coton 5 t/ha, chaque 3 ans. Coefficient d'utilisation pour Mg: 100 %.
_80 % sera disponible pendant la première année, 20 % pendant la deuxième année.

Engrais (kg/ha): Sur le coton - 150 complex coton (14 N, 22 P205, 12 K20, 8 S, 2 B) et 50 uree (46 N).
Sur le maïs: - 50 uree (46 N).
Sur le sorgho: - rien.

Pertes d'érosion - 2 t/ha/an: Mg-disponible 0.1 kg/ha/an; Mg-reserve 2.2 kg/ha/an.
- 10 t/ha/an: Mg-disponible 0.3 kg/ha/an; Mg-reserve 3.4 kg/ha/an.

Precipitation: 2 kg Mg/ha/an.

Lixiviation, lessivage: zone arachidière (Soudan-nord) - 10 kg Mg/ha/an.
zone cotonnière (Soudan-sud, Guinea-nord) - 20 kg Mg/ha/an.

Rotation COTON-MAIS-SORGHO. Bilan du soufre.

S	RENDEMENTS FAIBLES				RENDEMENTS ELEVES			
	Litière pas exportée		Litière exportée		Litière pas exportée		Litière exportée	
Coton-mais-sorgho	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve
COTON								
Mineralisation sol	1.6	128.4	1.6	128.4	1.6	128.4	1.6	128.4
Min. mat. org.	1.3	-1.3	1.3	-1.3	1.3	-1.3	1.3	-1.3
Fumure organique	1.2	1.8	1.2	1.8	1.2	1.8	1.2	1.8
Engrais	6	0	6	0	6	0	6	0
Precipitation	5	0	5	0	5	0	5	0
Erosion 2t E2	-0.1	-3.1	-0.1	-3.1	-0.1	-3.1	-0.1	-3.1
Erosion 10t E10	-0.3	-9.9	-0.3	-9.9	-0.3	-9.9	-0.3	-9.9
Lixiviation I	-20	0	-20	0	-20	0	-20	0
Lixiviation II	-10	0	-10	0	-10	0	-10	0
Bilan E2, L I	-5	125.8	-5	125.8	-5	125.8	-5	125.8
Bilan E2, L II	5	125.8	5	125.8	5	125.8	5	125.8
Bilan E10, L I	-5.2	119	-5.2	119	-5.2	119	-5.2	119
Bilan E10, L II	4.8	119	4.8	119	4.8	119	4.8	119
Exportation	2	0	7	0	5	0	14	0
Bilan annuel E2 LI	0	125.8	0	125.8	0	125.8	0	125.8
Bilan annuel E2 LII	3	125.8	0	125.8	0	125.8	0	125.8
Bilan annuel E10 LI	0	119	0	119	0	119	0	119
Bilan annuel E10 LII	2.8	119	0	119	0	119	0	119
MAIZE								
Miner. sol LI	1.6	-1.6	1.6	-1.6	1.6	-1.6	1.6	-1.6
Miner. sol LII	0	0	1.6	-1.6	1.6	-1.6	1.6	-1.6
Min. mat. org.	1.3	-1.3	1.3	-1.3	1.3	-1.3	1.3	-1.3
Fumure organique	0	0	0	0	0	0	0	0
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	5	0	5	0	5	0	5	0
Erosion 2t E2	-0.1	-3.1	-0.1	-3.1	-0.1	-3.1	-0.1	-3.1
Erosion 10t E10	-0.3	-9.9	-0.3	-9.9	-0.3	-9.9	-0.3	-9.9
Lixiviation L I	-20	0	-20	0	-20	0	-20	0
Lixiviation L II	-10	0	-10	0	-10	0	-10	0
Bilan E2, L I	-12.2	119.8	-12.2	119.8	-12.2	119.8	-12.2	119.8
Bilan E2, L II	-0.8	121.4	-2.2	119.8	-2.2	119.8	-2.2	119.8
Bilan E10, L I	-12.4	106.2	-12.4	106.2	-12.4	106.2	-12.4	106.2
Bilan E10, L II	-1.2	107.8	-2.4	106.2	-2.4	106.2	-2.4	106.2
Exportation	1	0	2	0	1	0	6	0
Bilan année2 E2 LI	0	119.8	0	119.8	0	119.8	0	119.8
Bilan année2 E2 LII	0	121.4	0	119.8	0	119.8	0	119.8
Bilan année2 E10 LI	0	106.2	0	106.2	0	106.2	0	106.2
Bilan année2 E10 LII	0	107.8	0	106.2	0	106.2	0	106.2

Rotation COTON-MAIS-SORGHO. Bilan du soufre.

SORGHO									
Miner. sol L I	1.6	-1.6	1.6	-1.6	1.6	-1.6	1.6	-1.6	
Miner. sol L II	1.6	-1.6	1.6	-1.6	1.6	-1.6	1.6	-1.6	
Min. mat. org.	1.3	-1.3	1.3	-1.3	1.3	-1.3	1.3	-1.3	
Fumure organique	0	0	0	0	0	0	0	0	
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0	
Precipitation	5	0	5	0	5	0	5	0	
Erosion 2t E2	-0.1	-3.1	-0.1	-3.1	-0.1	-3.1	-0.1	-3.1	
Erosion 10t E10	-0.3	-9.9	-0.3	-9.9	-0.3	-9.9	-0.3	-9.9	
Lixiviation I	-20	0	-20	0	-20	0	-20	0	
Lixiviation II	-10	0	-10	0	-10	0	-10	0	
Bilan E2, L I	-12.2	113.8	-12.2	113.8	-12.2	113.8	-12.2	113.8	
Bilan E2, L II	-2.2	115.4	-2.2	113.8	-2.2	113.8	-2.2	113.8	
Bilan E10 L I	-12.4	93.4	-12.4	93.4	-12.4	93.4	-12.4	93.4	
Bilan E10 L II	-2.4	95	-2.4	93.4	-2.4	93.4	-2.4	93.4	
Exportation	1	0	3	0	1	0	7	0	
Bilan année3 E2 LI	0	113.8	0	113.8	0	113.8	0	113.8	
Bilan année3 E2 LII	0	115.4	0	113.8	0	113.8	0	113.8	
Bilan année3 E10 LI	0	93.4	0	93.4	0	93.4	0	93.4	
Bilan année3 E10 LII	0	95	0	93.4	0	93.4	0	93.4	
Bilan total:									
Erosion 2t, Lix. I		-16.2		-16.2		-16.2		-16.2	
Erosion 2t, Lix. II		-14.6		-16.2		-16.2		-16.2	
Erosion 10t, Lix. I		-36.6		-36.6		-36.6		-36.6	
Erosion 10t, Lix. II		-35		-36.6		-36.6		-36.6	

Rendements (kg/ha)

	RENDEMENTS FAIBLES		RENDEMENTS ELEVES	
- Coton:	1500 grains	_1500; ? litière	2000 grains	_2000; ? litière
- Mais:	1100 grains	_1100;2600 litière	2200 grains	_2200;5000 litière
- Sorgho:	800 grains	_ 800;2000 litière	1600 grains	_1600;3600 litière

Réserve en S dans le sol en début - 0.005 % (60 ppm) S-total, 0-20 cm).
- disponible, comparé avec N, 10 % de N.

Fumure organique (0.1 % S) sur le coton 5 t/ha, chaque 3 ans. Coefficient d'utilisation pour S: 35 %?
_80 % sera disponible pendant la première année, 20 % pendant la deuxième année.

Engrais (kg/ha): Sur le coton - 150 complex coton (14 N, 22 P205, 12 K20, 8 S, 2 B) et 50 uree (46 N).
Sur le maïs: - 50 uree (46 N).
Sur le sorgho: - rien.
Coefficient d'utilisation: 100 % pour le soufre.

Matière organique 1%, 0.5 % S, mineralisation 1 % par an.

Pertes d'érosion E2=2 t/ha/an: S-disponible 0.1 kg/ha/an; S-reserve 3.1 kg/ha/an.
E10=10 t/ha/an: S-disponible 0.3 kg/ha/an; S-reserve 9.9 kg/ha/an.

Precipitation: 5 kg S/ha/an.

Lixiviation, lessivage: zone arachidière (Soudan-nord) - 9 kg S/ha/an.
zone cotonnière (Soudan-sud, Guinea-nord) - 20 kg S/ha/an (LI);
demi-estimation (LII): 10.

Rotation ARACHIDE-MIL-MIL. Bilan de l'azote.

N	RENDEMENTS FAIBLES				RENDEMENTS ELEVES			
	Litière pas exportée		Litière exportée		Litière pas exportée		Litière exportée	
ARACHIDE	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve
Mineralisation sol	16	2484	16	2484	16	2484	16	2484
Min. mat. org.	13	-13	13	-13	13	-13	13	-13
Fumure organique	0	0	0	0	0	0	0	0
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	6	0	6	0	6	0	6	0
Pertes, érosion 2t	-0.4	-7.6	-0.4	-7.6	-0.4	-7.6	-0.4	-7.6
Pertes, érosion 10t	-2	-29.8	-2	-29.8	-2	-29.8	-2	-29.8
Pertes, lixiviation	-18	0	-18	0	-18	0	-18	0
Fixation N	15	15	15	15	30	30	30	30
Bilan 2t-érosion	31.6	2478.4	31.6	2478.4	46.6	2493.4	46.6	2493.4
Bilan 10t-érosion	30	2456.2	30	2456.2	45	2471.2	45	2471.2
Exportation	39	0	43	0	54	0	66	0
Bilan année1-2t ér.	0	2478.4	0	2478.4	0	2493.4	0	2493.4
Bilan année1-10t ér.	0	2456.2	0	2456.2	0	2471.2	0	2471.2
MIL								
Mineralisation sol	16	-16	16	-16	16	-16	16	-16
Min. mat. org.	13	-13	13	-13	13	-13	13	-13
Fumure organique	4	6	4	6	4	6	4	6
Engrais	9	0	9	0	9	0	9	0
Precipitation	6	0	6	0	6	0	6	0
Pertes, érosion 2t	-0.4	-7.6	-0.4	-7.6	-0.4	-7.6	-0.4	-7.6
Pertes, érosion 10t	-2	-29.8	-2	-29.8	-2	-29.8	-2	-29.8
Pertes, lixiviation	-18	0	-18	0	-18	0	-18	0
Fixation N	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	29.6	2447.8	29.6	2447.8	29.6	2462.8	29.6	2462.8
Bilan 10t-érosion	28	2403.4	28	2403.4	28	2418.4	28	2418.4
Exportation	14	0	28	0	25	0	57	0
Bilan année2-2t ér.	15.6	2447.8	1.6	2447.8	4.6	2462.8	0	2462.8
Bilan année2-10t ér.	14	2403.4	0	2403.4	3	2418.4	0	2418.4
MIL								
Mineralisation sol	16	-16	16	-16	16	-16	16	-16
Min. mat. org.	13	-13	13	-13	13	-13	13	-13
Fumure organique	4	6	4	6	4	6	4	6
Engrais	9	0	9	0	9	0	9	0
Precipitation	6	0	6	0	6	0	6	0
Pertes, érosion 2t	-0.4	-7.6	-0.4	-7.6	-0.4	-7.6	-0.4	-7.6
Pertes, érosion 10t	-2	-29.8	-2	-29.8	-2	-29.8	-2	-29.8
Pertes, lixiviation	-18	0	-18	0	-18	0	-18	0
Fixation N	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	45.2	2417.2	31.2	2417.2	34.2	2432.2	29.6	2432.2
Bilan 10t-érosion	42	2350.6	28	2350.6	31	2365.6	28	2365.6
Exportation	14	0	28	0	25	0	57	0
Bilan année3-2t ér.	31.2	2417.2	3.2	2417.2	9.2	2432.2	0	2432.2
Bilan année3-10t ér.	28	2350.6	0	2350.6	6	2365.6	0	2365.6
Bilan total - 2t ér.		-51.6		-79.6		-58.6		-67.8
Bilan total -10t ér.		-121.4		-149.4		-128.4		-134.4

Rotation ARACHIDE-MIL-MIL. Bilan de l'azote.

Rendements (kg/ha)	RENDEMENTS FAIBLES		RENDEMENTS ELEVES	
- Arachide:	700 gousses	_700;1400 litière	1400 gousses	_1400;2500 litière
- Mil:	700 graines	_700;3000 litière	1400 graines	_1400;6000 litière

Réserve en N dans le sol en début: 2500 kg N/ha (0.1 % N-total, 0-20 cm).

Fumure organique (1% N) sur le mil 1t/ha/an en moyenne. Coefficient d'utilisation pour N: 35 %.
_80 % sera disponible pendant la première année, 20 % pendant la deuxième année.

Engrais (kg/ha): Sur l'arachide - 65 SSP (22 P205, 12 S, 20 Ca). Sur le mil 50 DAP (18 N, 46 P205).
Coefficient d'utilisation: 100 % pour l'azote.

Taux de l'azote dans le sol: NH₄-disponible - 5 ppm, mais il reste 2 ppm en Août.
NO₃-disponible - 10 ppm, toute sera disparu en Août.
N-organique-disponible: matière organique 0-20 cm 1 %, 20-40 cm 0.3 %.
Matière organique avec 4 % N, minéralisation 1 % par an.

Pertes d'érosion - 2 t/ha/an: N-disponible 0.4 kg/ha/an; N-reserve 7.6 kg/ha/an.
- 10 t/ha/an: N-disponible 2 kg/ha/an; N-reserve 29.8 kg/ha/an.

Precipitation: 6 kg N/ha/an.

Lixiviation, lessivage: zone arachidière (Soudan-nord) - 18 kg N/ha/an.
zone cotonnière (Soudan-sud, Guinea-nord) - 44 kg N/ha/an.

Fixation biologique de N par l'arachide: rendement gousses 1400 kg/ha - 60 kg N/ha/an, 50 % disponible.
rendement gousses 700 kg/ha - 30 kg N/ha/an, 50 % disponible.

Rotation ARACHIDE-MIL-MIL. Bilan du phosphore.

P	RENDEMENTS FAIBLES				RENDEMENTS ELEVES			
	Litière pas exportée		Litière exportée		Litière pas exportée		Litière exportée	
ARACHIDE	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve
Mineralisation sol	0.4	499.6	0.4	499.6	0.4	499.6	0.4	499.6
Min. mat. org.	0.5	-0.5	0.5	-0.5	0.5	-0.5	0.5	-0.5
Fumure organique	0	0	0	0	0	0	0	0
Engrais	6	0	6	0	6	0	6	0
Precipitation	2	0	2	0	2	0	2	0
Pertes, érosion 2t	0	-1.3	0	-1.3	0	-1.3	0	-1.3
Pertes, érosion 10t	0	-3.8	0	-3.8	0	-3.8	0	-3.8
Pertes, lixiviation	0	0	0	0	0	0	0	0
Fixation P	-4.8	4.8	-4.8	4.8	-4.8	4.8	-4.8	4.8
Bilan 2t-érosion	4.1	502.6	4.1	502.6	4.1	502.6	4.1	502.6
Bilan 10t-érosion	4.1	500.1	4.1	500.1	4.1	500.1	4.1	500.1
Exportation	2	0	2	0	6	0	7	0
Bilan annuel-2t ér.	2.1	502.6	2.1	502.6	0	502.6	0	502.6
Bilan annuel-10t ér.	2.1	500.1	2.1	500.1	0	500.1	0	500.1
MIL								
Mineralisation sol	0.88	-0.88	0.88	-0.88	0.88	-0.88	0.88	-0.88
Min. mat. org.	0.5	-0.5	0.5	-0.5	0.5	-0.5	0.5	-0.5
Fumure organique	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7
Engrais	10	0	10	0	10	0	10	0
Precipitation	2	0	2	0	2	0	2	0
Pertes, érosion 2t	0	-1.3	0	-1.3	0	-1.3	0	-1.3
Pertes, érosion 10t	0	-3.8	0	-3.8	0	-3.8	0	-3.8
Pertes, lixiviation	0	0	0	0	0	0	0	0
Fixation P	-8	8	-8	8	-8	8	-8	8
Bilan 2t-érosion	8.68	508.62	8.68	508.62	6.58	508.62	6.58	508.62
Bilan 10t-érosion	8.68	503.62	8.68	503.62	6.58	503.62	6.58	503.62
Exportation	3	0	4	0	4	0	9	0
Bilan année2-2t ér.	5.68	508.62	4.68	508.62	2.58	508.62	0	508.62
Bilan année2-10t ér.	5.68	503.62	4.68	503.62	2.58	503.62	0	503.62
MIL								
Mineralisation sol	0.88	-0.88	0.88	-0.88	0.88	-0.88	0.88	-0.88
Min. mat. org.	0.5	-0.5	0.5	-0.5	0.5	-0.5	0.5	-0.5
Fumure organique	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7	1.2	0.7
Engrais	10	0	10	0	10	0	10	0
Precipitation	2	0	2	0	2	0	2	0
Pertes, érosion 2t	0	-1.3	0	-1.3	0	-1.3	0	-1.3
Pertes, érosion 10t	0	-3.8	0	-3.8	0	-3.8	0	-3.8
Pertes, lixiviation	0	0	0	0	0	0	0	0
Fixation P	-8	8	-8	8	-8	8	-8	8
Bilan 2t-érosion	12.26	514.64	11.26	514.64	9.16	514.64	6.58	514.64
Bilan 10t-érosion	12.26	507.14	11.26	507.14	9.16	507.14	6.58	507.14
Exportation	3	0	4	0	4	0	9	0
Bilan année3-2t ér.	9.26	514.64	7.26	514.64	5.16	514.64	0	514.64
Bilan année3-10t ér.	9.26	507.14	7.26	507.14	5.16	507.14	0	507.14
Bilan total - 2t ér.		23.9		21.9		19.8		14.64
Bilan total - 10t ér.		16.4		14.4		12.3		7.14

Rotation ARACHIDE-MIL-MIL. Bilan du phosphore.

Rendements (kg/ha)	RENDEMENTS FAIBLES	RENDEMENTS ELEVES
- Arachide:	700 gousses _700;1200 litière	1400 gousses _1400;2500 litière
- Mil:	700 graines _700;3000 litière	1400 graines _1400;6000 litière

Réserve en P dans le sol en début: 500 kg P/ha (150 ppm P-total 0-20cm; 10 ppm 20-100cm).

Fumure organique (0.2 % P) sur le mil 1 t/ha/an. Coefficient d'utilisation pour P: 75 %.
_80 % sera disponible pendant la première année, 20 % pendant la deuxième année.

Engrais (kg/ha): Sur l'arachide - 65 SSP (21 P205, 12 S, 20 Ca). Sur le mil 50 DAP (18 N, 46 P205).
Coefficient d'utilisation: 100 % pour le phosphore.

Taux du phosphore dans le sol: P-disponible - 3 ppm.

Pertes d'érosion - 2 t/ha/an: P-disponible 0.0 kg/ha/an; P-reserve 1.3 kg/ha/an.
- 10 t/ha/an: P-disponible 0.0 kg/ha/an; P-reserve 3.8 kg/ha/an.

Precipitation: 2 kg P/ha/an.

Lixiviation, lessivage: zone arachidière (Soudan-nord) - 0 kg P/ha/an.
zone cotonnière (Soudan-sud, Guinea-nord) - 0 kg P/ha/an.

Rotation ARACHIDE-MIL-MIL. Bilan du potassium.

K	RENDEMENTS FAIBLES				RENDEMENTS ELEVES			
	Litière pas exportée		Litière exportée		Litière pas exportée		Litière exportée	
ARACHIDE	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve
Mineralisation sol	400	24600	400	24600	400	24600	400	24600
Min. mat. org.	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique	0	0	0	0	0	0	0	0
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	4	0	4	0	4	0	4	0
Pertes, érosion 2t	-0.1	-7.4	-0.1	-7.4	-0.1	-7.4	-0.1	-7.4
Pertes, érosion 10t	-0.4	-58.2	-0.4	-58.2	-0.4	-58.2	-0.4	-58.2
Pertes, lixiviation	-6	0	-6	0	-6	0	-6	0
Fixation K	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	397.9	24592.6	397.9	24592.6	397.9	24592.6	397.9	24592.6
Bilan 10t-érosion	397.6	24541.8	397.6	24541.8	397.6	24541.8	397.6	24541.8
Exportation	6	0	25	0	10	0	29	0
Bilan année1-2t ér.	391.9	24592.6	372.9	24592.6	387.9	24592.6	368.9	24592.6
Bilan année1-10t ér.	391.6	24541.8	372.6	24541.8	387.6	24541.8	368.6	24541.8
MIL								
Mineralisation sol	8.4	-8.4	27.4	-27.4	12.4	-12.4	31.4	-31.4
Min. mat. org.	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique	4	1	4	1	4	1	4	1
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	4	0	4	0	4	0	4	0
Pertes, érosion 2t	-0.1	-7.4	-0.1	-7.4	-0.1	-7.4	-0.1	-7.4
Pertes, érosion 10t	-0.4	-58.2	-0.4	-58.2	-0.4	-58.2	-0.4	-58.2
Pertes, lixiviation	-6	0	-6	0	-6	0	-6	0
Fixation K	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	402.2	24577.8	402.2	24558.8	402.2	24573.8	402.2	24554.8
Bilan 10t-érosion	401.6	24476.2	401.6	24457.2	401.6	24472.2	401.6	24453.2
Exportation	7	0	39	0	8	0	79	0
Bilan année2-2t ér.	395.2	24577.8	363.2	24558.8	394.2	24573.8	323.2	24554.8
Bilan année2-10t ér.	394.6	24476.2	362.6	24457.2	393.6	24472.2	322.6	24453.2
MIL								
Mineralisation sol	5.4	-5.4	37.4	-37.4	6.4	-6.4	77.4	-77.4
Min. mat. org.	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique	4	1	4	1	4	1	4	1
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	4	0	4	0	4	0	4	0
Pertes, érosion 2t	-0.1	-7.4	-0.1	-7.4	-0.1	-7.4	-0.1	-7.4
Pertes, érosion 10t	-0.4	-58.2	-0.4	-58.2	-0.4	-58.2	-0.4	-58.2
Pertes, lixiviation	-6	0	-6	0	-6	0	-6	0
Fixation K	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	402.5	24566	402.5	24515	402.5	24561	402.5	24471
Bilan 10t-érosion	401.6	24413.6	401.6	24362.6	401.6	24408.6	401.6	24318.6
Exportation	7	0	39	0	8	0	79	0
Bilan année3-2t ér.	395.5	24566	363.5	24515	394.5	24561	323.5	24471
Bilan année3-10t ér.	394.6	24413.6	362.6	24362.6	393.6	24408.6	322.6	24318.6
Bilan -total 2t ér.		-38.5		-121.5		-44.5		-205.5
Bilan -total 10t ér.		-191.8		-274.8		-197.8		-358.8

Rotation ARACHIDE-MIL-MIL. Bilan du potassium.

Rendements (kg/ha)	RENDEMENTS FAIBLES	RENDEMENTS ELEVES
- Arachide:	700 gousses _700;1200 litière	1400 gousses _1400;2500 litière
- Mil:	700 graines _700;3000 litière	1400 graines _1400;6000 litière

Réserve en K dans le sol en début: - non-échangeable: 25000 kg K/ha (0.5 % K-total, 0-40cm).
- échangeable: 400 kg K/ha (0.25 me K/100 g sol, 0-20 cm; 0.15, 20-40 cm).

Fumure organique (1.3 % K) sur le mil 1 t/ha/an. Coefficient d'utilisation pour K: 100 %.
_80 % sera disponible pendant la première année, 20 % pendant la deuxième année.

Engrais (kg/ha): Sur l'arachide et le mil: pas de K.

Taux de la potasse dans le sol: K-échangeable 0-20 cm - 0.25 me/100 g sol.

Pertes d'érosion - 2 t/ha/an: K-disponible 0.1 kg/ha/an; K-reserve 7.4 kg/ha/an.
- 10 t/ha/an: K-disponible 0.4 kg/ha/an; K-reserve 58.2 kg/ha/an.

Precipitation: 4 kg K/ha/an.

Lixiviation, lessivage: zone arachidière (Soudan-nord) - 6 kg K/ha/an.
zone cotonnière (Soudan-sud, Guinea-nord) - 13 kg K/ha/an.

Rotation ARACHIDE-MIL-MIL. Bilan du calcium.

Ca	RENDEMENTS FAIBLES				RENDEMENTS ELEVES			
	Litière pas exportée		Litière exportée		Litière pas exportée		Litière exportée	
ARACHIDE	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve
Mineralisation sol	3000	5000	3000	5000	3000	5000	3000	5000
Min. mat. org.	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique	0	0	0	0	0	0	0	0
Engrais	13	0	13	0	13	0	13	0
Precipitation	20	0	20	0	20	0	20	0
Pertes, érosion 2t	-0.2	-8.6	-0.2	-8.6	-0.2	-8.6	-0.2	-8.6
Pertes, érosion 10t	-1	-15.9	-1	-15.9	-1	-15.9	-1	-15.9
Pertes, lixiviation	-25	0	-25	0	-25	0	-25	0
Fixation Ca	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	3007.8	4991.4	3007.8	4991.4	3007.8	4991.4	3007.8	4991.4
Bilan 10t-érosion	3007	4984.1	3007	4984.1	3007	4984.1	3007	4984.1
Exportation	1	0	10	0	1	0	18	0
Bilan année1-2t ér.	3006.8	4991.4	2997.8	4991.4	3006.8	4991.4	2989.8	4991.4
Bilan année1-10t ér.	3006	4984.1	2997	4984.1	3006	4984.1	2989	4984.1
MIL								
Mineralisation sol	0	0	3	-3	0	0	11	-11
Min. mat. org.	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique	4	6	4	6	4	6	4	6
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	20	0	20	0	20	0	20	0
Pertes, érosion 2t	-0.2	-8.6	-0.2	-8.6	-0.2	-8.6	-0.2	-8.6
Pertes, érosion 10t	-1	-15.9	-1	-15.9	-1	-15.9	-1	-15.9
Pertes, lixiviation	-25	0	-25	0	-25	0	-25	0
Fixation Ca	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	3005.6	4988.8	2999.6	4985.8	3005.6	4988.8	2999.6	4977.8
Bilan 10t-érosion	3004	4974.2	2998	4971.2	3004	4974.2	2998	4963.2
Exportation	1	0	9	0	1	0	19	0
Bilan année2-2t ér.	3004.6	4988.8	2990.6	4985.8	3004.6	4988.8	2980.6	4977.8
Bilan année2-10t ér.	3003	4974.2	2989	4971.2	3003	4974.2	2979	4963.2
MIL								
Mineralisation sol	0	0	11	-11	0	0	21	-21
Min. mat. org.	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique	4	6	4	6	4	6	4	6
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	20	0	20	0	20	0	20	0
Pertes, érosion 2t	-0.2	-8.6	-0.2	-8.6	-0.2	-8.6	-0.2	-8.6
Pertes, érosion 10t	-1	-15.9	-1	-15.9	-1	-15.9	-1	-15.9
Pertes, lixiviation	-25	0	-25	0	-25	0	-25	0
Fixation Ca	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	3003.4	4986.2	3000.4	4972.2	3003.4	4986.2	3000.4	4954.2
Bilan 10t-érosion	3001	4964.3	2998	4950.3	3001	4964.3	2998	4932.3
Exportation	1	0	9	0	1	0	19	0
Bilan année3-2t ér.	3002.4	4986.2	2991.4	4972.2	3002.4	4986.2	2981.4	4954.2
Bilan année3-10t ér.	3000	4964.3	2989	4950.3	3000	4964.3	2979	4932.3
Bilan total - 2t ér.		-11.4		-36.4		-11.4		-64.4
Bilan total -10t ér.		-35.7		-60.7		-35.7		-88.7

Rotation ARACHIDE-MIL-MIL. Bilan du calcium.

Rendements (kg/ha)	RENDEMENTS FAIBLES	RENDEMENTS ELEVES
- Arachide:	700 gousses _700;1200 litière	1400 gousses _1400;2500 litière
- Mil:	700 graines _700;3000 litière	1400 graines _1400;6000 litière

Réserve en Ca dans le sol en début: - non-échangeable: 0.15 % Ca-total, 0-40cm.
- échangeable: 3.0 % Ca/100 g sol, 0-20 cm; 2.0, 20-40 cm).

Fumure organique (1.0 % Ca) sur le mil 1 t/ha/an. Coefficient d'utilisation pour Ca: 100 %.
_80 % sera disponible pendant la première année, 20 % pendant la deuxième année.

Engrais (kg/ha): Sur l'arachide 65 kg/ha simple superphosphate (22 % P205, 12 % S, 20 % Ca).
Sur le mil: 50 kg/ha DAP (18 N, 46 P205).

Pertes d'érosion - 2 t/ha/an: Ca-disponible 0.2 kg/ha/an; Ca-reserve 8.6 kg/ha/an.
- 10 t/ha/an: Ca-disponible 1.0 kg/ha/an; Ca-reserve 15.9 kg/ha/an.

Precipitation: 20 kg Ca/ha/an.

Lixiviation, lessivage: zone arachidière (Soudan-nord) - 25 kg Ca/ha/an.
zone cotonnière (Soudan-sud, Guinea-nord) - 35 kg Ca/ha/an.

Rotation ARACHIDE-MIL-MIL. Bilan du magnésium.

Mg	RENDEMENTS FAIBLES				RENDEMENTS ELEVES			
	Litière pas exportée		Litière exportée		Litière pas exportée		Litière exportée	
ARACHIDE	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve
	760	19240	760	19240	760	19240	760	19240
Mineralisation sol	760	19240	760	19240	760	19240	760	19240
Min. mat. org.	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique	0	0	0	0	0	0	0	0
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	2	0	2	0	2	0	2	0
Pertes, érosion 2t	-0.1	-2.2	-0.1	-2.2	-0.1	-2.2	-0.1	-2.2
Pertes, érosion 10t	-0.3	-3.4	-0.3	-3.4	-0.3	-3.4	-0.3	-3.4
Pertes, lixiviation	-10	0	-10	0	-10	0	-10	0
Fixation Mg	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	751.9	19237.8	751.9	19237.8	751.9	19237.8	751.9	19237.8
Bilan 10t-érosion	751.7	19236.6	751.7	19236.6	751.7	19236.6	751.7	19236.6
Exportation	1	0	7	0	2	0	10	0
Bilan année1-2t ér.	750.9	19237.8	744.9	19237.8	749.9	19237.8	741.9	19237.8
Bilan année1-10t ér.	750.7	19236.6	744.7	19236.6	749.7	19236.6	741.7	19236.6
MIL								
Mineralisation sol	9.3	-9.3	15.3	-15.3	10.3	-10.3	18.3	-18.3
Min. mat. org.	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique	5	1	5	1	5	1	5	1
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	2	0	2	0	2	0	2	0
Pertes, érosion 2t	-0.1	-2.2	-0.1	-2.2	-0.1	-2.2	-0.1	-2.2
Pertes, érosion 10t	-0.3	-3.4	-0.3	-3.4	-0.3	-3.4	-0.3	-3.4
Pertes, lixiviation	-10	0	-10	0	-10	0	-10	0
Fixation Mg	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	757.1	19227.3	757.1	19221.3	757.1	19226.3	757.1	19218.3
Bilan 10t-érosion	756.7	19224.9	756.7	19218.9	756.7	19223.9	756.7	19215.9
Exportation	1	0	9	0	2	0	16	0
Bilan année2-2t ér.	756.1	19227.3	748.1	19221.3	755.1	19226.3	741.1	19218.3
Bilan année2-10t ér.	755.7	19224.9	747.7	19218.9	754.7	19223.9	740.7	19215.9
MIL								
Mineralisation sol	4.3	-4.3	12.3	-12.3	5.3	-5.3	19.3	-19.3
Min. mat. org.	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique	5	1	5	1	5	1	5	1
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	2	0	2	0	2	0	2	0
Pertes, érosion 2t	-0.1	-2.2	-0.1	-2.2	-0.1	-2.2	-0.1	-2.2
Pertes, érosion 10t	-0.3	-3.4	-0.3	-3.4	-0.3	-3.4	-0.3	-3.4
Pertes, lixiviation	-10	0	-10	0	-10	0	-10	0
Fixation Mg	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan 2t-érosion	757.3	19221.8	757.3	19207.8	757.3	19219.8	757.3	19197.8
Bilan 10t-érosion	756.7	19218.2	756.7	19204.2	756.7	19216.2	756.7	19194.2
Exportation	1	0	9	0	2	0	16	0
Bilan année3-2t ér.	756.3	19221.8	748.3	19207.8	755.3	19219.8	741.3	19197.8
Bilan année3-10t ér.	755.7	19218.2	747.7	19204.2	754.7	19216.2	740.7	19194.2
Bilan total - 2 t ér.		-21.9		-43.9		-24.9		-60.9
Bilan total -10 t ér.		-26.1		-48.1		-29.1		-65.1

Rotation ARACHIDE-MIL-MIL. Bilan du magnésium.

Rendements (kg/ha)	RENDEMENTS FAIBLES		RENDEMENTS ELEVES			
- Arachide:	700 gousses	_700;1200	litière	1400 gousses	_1400;2500	litière
- Mil:	700 graines	_700;3000	litière	1400 graines	_1400;6000	litière

Réserve en Mg dans le sol en début: -: 0.4 % Mg-total, 0-40cm (estimé).
- échangeable: 1.2 % Mg/100 g sol, 0-40 cm).

Fumure organique (0.6 % Mg) sur le mil 1 t/ha/an. Coefficient d'utilisation pour Mg: 100 %.
_80 % sera disponible pendant la première année, 20 % pendant la deuxième année.

Engrais (kg/ha): Sur l'arachide 65 kg/ha simple superphosphate (22 % P205, 12 % S, 20 % Ca).
Sur le mil 50 kg/ha DAP (18 N, 46 P205).

Pertes d'érosion - 2 t/ha/an: Mg-disponible 0.1 kg/ha/an; Mg-reserve 2.2 kg/ha/an.
- 10 t/ha/an: Mg-disponible 0.3 kg/ha/an; Mg-reserve 3.4 kg/ha/an.

Precipitation: 2 kg Mg/ha/an.

Lixiviation, lessivage: zone arachidière (Soudan-nord) - 10 kg Mg/ha/an.
zone cotonnière (Soudan-sud, Guinea-nord) - 20 kg Mg/ha/an.

Rotation ARACHIDE-MIL-MIL. Bilan du soufre.

S	RENDEMENTS FAIBLES				RENDEMENTS ELEVES			
	Litière pas exportée		Litière exportée		Litière pas exportée		Litière exportée	
ARACHIDE	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve
Mineralisation sol	1.6	128.4	1.6	128.4	1.6	128.4	1.6	128.4
Min. mat. org.	1.3	-1.3	1.3	-1.3	1.3	-1.3	1.3	-1.3
Fumure organique	0	0	0	0	0	0	0	0
Engrais	8	0	8	0	8	0	8	0
Precipitation	5	0	5	0	5	0	5	0
Erosion 2t E2	-0.1	-3.1	-0.1	-3.1	-0.1	-3.1	-0.1	-3.1
Erosion 10t E10	-0.3	-9.9	-0.3	-9.9	-0.3	-9.9	-0.3	-9.9
Lixiviation I	-9	0	-9	0	-9	0	-9	0
Lixiviation II	-4.5	0	-4.5	0	-4.5	0	-4.5	0
Bilan E2, L I	6.8	124	6.8	124	6.8	124	6.8	124
Bilan E2, L II	11.3	124	11.3	124	11.3	124	11.3	124
Bilan E10, L I	6.6	117.2	6.6	117.2	6.6	117.2	6.6	117.2
Bilan E10, L II	11.1	117.2	11.1	117.2	11.1	117.2	11.1	117.2
Exportation	2	0	6	0	3	0	9	0
Bilan annuel E2 LI	4.8	124	0.8	124	3.8	124	0	124
Bilan annuel E2 LII	9.3	124	5.3	124	8.3	124	2.3	124
Bilan annuel E10 LI	4.6	117.2	0.6	117.2	3.6	117.2	0	117.2
Bilan annuel E10 LII	9.1	117.2	5.1	117.2	8.1	117.2	2.1	117.2
MIL								
Miner. sol LI	0	0	1.6	-1.6	0	0	1.6	-1.6
Miner. sol LII	0	0	0	0	0	0	0	0
Min. mat. org.	1.3	-1.3	1.3	-1.3	1.3	-1.3	1.3	-1.3
Fumure organique	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Precipitation	5	0	5	0	5	0	5	0
Erosion 2t E2	-0.1	-3.1	-0.1	-3.1	-0.1	-3.1	-0.1	-3.1
Erosion 10t E10	-0.3	-9.9	-0.3	-9.9	-0.3	-9.9	-0.3	-9.9
Lixiviation L I	-9	0	-9	0	-9	0	-9	0
Lixiviation L II	-4.5	0	-4.5	0	-4.5	0	-4.5	0
Bilan E2, L I	2.2	120	-0.2	118.4	1.2	120	-1	118.4
Bilan E2, L II	11.2	120	7.2	120	10.2	120	4.2	120
Bilan E10, L I	1.8	106.4	-0.6	104.8	0.8	106.4	-1.2	104.8
Bilan E10, L II	10.8	106.4	6.8	106.4	9.8	106.4	3.8	106.4
Exportation	1	0	11	0	3	0	22	0
Bilan année2 E2 LI	1.2	120	0	118.4	0	120	0	118.4
Bilan année2 E2 LII	10.2	120	0	120	7.2	120	0	120
Bilan année2 E10 LI	0.8	106.4	0	104.8	0	106.4	0	104.8
Bilan année2 E10 LII	9.8	106.4	0	106.4	6.8	106.4	0	106.4

Rotation ARACHIDE-MIL-MIL. Bilan du soufre.

MIL									
Miner. sol L I	1.6	-1.6	1.6	-1.6	1.6	-1.6	1.6	-1.6	-1.6
Miner. sol L II	0	0	1.6	-1.6	0	0	1.6	-1.6	-1.6
Min. mat. org.	1.3	-1.3	1.3	-1.3	1.3	-1.3	1.3	-1.3	-1.3
Fumure organique	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4	0.4
Engrais	4	0	4	0	4	0	4	0	0
Precipitation	5	0	5	0	5	0	5	0	0
Erosion 2t E2	-0.1	-3.1	-0.1	-3.1	-0.1	-3.1	-0.1	-3.1	-3.1
Erosion 10t E10	-0.3	-9.9	-0.3	-9.9	-0.3	-9.9	-0.3	-9.9	-9.9
Lixiviation I	-9	0	-9	0	-9	0	-9	0	0
Lixiviation II	-4.5	0	-4.5	0	-4.5	0	-4.5	0	0
Bilan E2, L I	4.2	114.4	3	112.8	3	114.4	3	112.8	112.8
Bilan E2, L II	16.1	116	7.5	114.4	13.1	116	7.5	114.4	114.4
Bilan E10 L I	3.6	94	2.8	92.4	2.8	94	2.8	92.4	92.4
Bilan E10 L II	15.5	95.6	7.3	94	12.5	95.6	7.3	94	94
Exportation	1	0	11	0	3	0	22	0	0
Bilan année3 E2 LI	3.2	114.4	0	112.8	0	114.4	0	112.8	112.8
Bilan année3 E2 LII	15.1	116	0	114.4	10.1	116	0	114.4	114.4
Bilan année3 E10 LI	2.6	94	0	92.4	0	94	0	92.4	92.4
Bilan année3 E10 LII	14.5	95.6	0	94	9.5	95.6	0	94	94

Bilan total:

Erosion 2t, Lix. I	-12.4	-17.2	-15.6	-17.2
Erosion 2t, Lix. II	1.1	-15.6	-3.9	-15.6
Erosion 10t, Lix. I	-33.4	-37.6	-36	-37.6
Erosion 10t, Lix. II	-19.9	-36	-24.9	-36

Rendements (kg/ha)

	RENDEMENTS FAIBLES	RENDEMENTS ELEVES
- Arachide:	700 gousses _700;1200 litière	1400 gousses _1400;2500 litière
- Mil:	700 graines _700;3000 litière	1400 graines _1400;6000 litière

Réserve en S dans le sol en début: - 0.005 % (60 ppm) S-total, 0-20cm (estimé).

- disponible: comparé avec N, 10 % de N.

Fumure organique (0.1 % Ca) sur le mil 1 t/ha/an. Coefficient d'utilisation pour S: 35 %?

_80 % sera disponible pendant la première année, 20 % pendant la deuxième année.

Engrais (kg/ha): Sur l'arachide 65 kg/ha simple superphosphate (22 % P205, 12 % S, 20 % Ca).

Sur le mil: 50 kg/ha DAP (18 N, 46 P205).

Pertes d'érosion E2=2 t/ha/an: S-disponible 0.1 kg/ha/an; S-reserve 3.1 kg/ha/an.

E10=10 t/ha/an: S-disponible 0.3 kg/ha/an; S-reserve 9.9 kg/ha/an.

Precipitation: 5 kg S/ha/an.

Lixiviation, lessivage: zone arachidière (Soudan-nord) - 9 kg S/ha/an (LI); demi-estimation LII:4.5.
zone cotonnière (Soudan-sud, Guinea-nord) - 20 kg S/ha/an.

Riz irrigué. Bilan de l'azote.

N	RENDEMENTS FAIBLES				RENDEMENTS ELEVES			
	Paille enfouie		Paille exportée		Paille enfouie		Paille exportée	
	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve
Riz irrigué								
Mineralisation sol	4	2196	4	2196	4	2196	4	2196
Min. mat. org.	10	-10	10	-10	10	-10	10	-10
Fumure organique	2	6	2	6	2	6	2	6
Engrais niveau 1	63	0	63	0	87	0	87	0
Engrais niveau 2	87	0	87	0	109	0	109	0
Engrais niveau 3	109	0	109	0	155	0	155	0
Precipitation	3	0	3	0	3	0	3	0
Paille	5	17	0	0	13	39	0	0
Eau de la nappe	1	0	1	0	1	0	1	0
Fixation N	25	5	25	5	25	5	25	5
Pertes eau-irr.niv.1	4,41	0	4,41	0	6,09	0	6,09	0
Pertes eau-irr.niv.2	6,09	0	6,09	0	7,63	0	7,63	0
Pertes eau-irr.niv.3	7,63	0	7,63	0	10,85	0	10,85	0
Volatilization niv.1	8,19	0	8,19	0	11,31	0	11,31	0
Volatilization niv.2	11,31	0	11,31	0	14,17	0	14,17	0
Volatilization niv.3	14,17	0	14,17	0	20,15	0	20,15	0
Denitrificat. niv.1	18,65	0	18,65	0	24,65	0	24,65	0
Denitrificat. niv.2	24,65	0	24,65	0	30,15	0	30,15	0
Denitrificat. niv.3	30,15	0	30,15	0	41,65	0	41,65	0
Lessivage	24	0	24	0	24	0	24	0
Avec Azolla:								
Bilan annuel - niv.1	57,75	2214	52,75	2197	78,95	2236	65,95	2197
Bilan annuel - niv.2	70,95	2214	65,95	2197	91,05	2236	78,05	2197
Bilan annuel - niv.3	83,05	2214	78,05	2197	116,35	2236	103,35	2197
Sans Azolla:								
Bilan annuel - niv.1	32,75	2209	27,75	2192	53,95	2231	40,95	2192
Bilan annuel - niv.2	45,95	2209	40,95	2192	66,05	2231	53,05	2192
Bilan annuel - niv.3	58,05	2209	53,05	2192	91,35	2231	78,35	2192
Exportation	45	0	45	0	78	0	78	0
BILAN TOTAL (année 1)								
NIVEAU 1 - quantité d'engrais basse								
Avec Azolla	12,75	2214	7,75	2197	0,95	2236	0	2197
Sans Azolla	0	2209	0	2192	0	2231	0	2192
NIVEAU 2 - quantité d'engrais moyenne								
Avec Azolla	25,95	2214	20,95	2197	13,05	2236	0,05	2197
Sans Azolla	22,95	2209	0	2192	0	2231	0	2192
NIVEAU 3 - quantité d'engrais haute								
Avec Azolla	38,05	2214	33,05	2197	38,35	2236	25,35	2197
Sans Azolla	13,05	2209	8,05	2192	13,35	2231	0,35	2192

RIZ IRRIGUE. Bilan de l'azote.

	RENDEMENTS FAIBLES		RENDEMENTS ELEVES	
Rendement grain:	2000	2000	4000	4000
Rendement paille:	2750	2750	6500	6500

Réserve en N dans le sol en début: 2200 kg N/ha (0.05 % N-total 0-20cm; 0.02 % 20-40cm; 0.01 % 40-60cm).

Engrais (kg/ha) 100 DAP +				
niveau 1 - uree	100	100	150	150
niveau 2 - uree	150	150	200	200
niveau 3 - uree	200	200	300	300

Fumure org. 1 t chaque 2 an

Pertes eau-irrigation: _ 7 % engrais-N
 Pertes par volatilization: _ 13 % engrais-N
 Pertes par denitrification: _ 25 % engrais-N + 10 % fixation N + 10 % N-minéralisé.

Lessivage _ 300 mm/an, pertes en N estimé 8-40, moyenne de 24 kg N/ha/an.

Fixation N par Azolla/Anabaena et Algae/bacteria: moyen de 30 kg N/ha

Paille % N: 0,8 Eau irrig.-ppm N: 0,003 Eau nappe-ppm N: 1,8

Riz irrigué. Bilan du phosphore.

P	RENDEMENTS FAIBLES				RENDEMENTS ELEVES			
	Paille enfouie		Paille exportée		Paille enfouie		Paille exportée	
Riz irrigué	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve
Moursi-Dian								
Mineralisation sol	16	584	16	584	16	584	16	584
Pluie	1	0	1	0	1	0	1	0
Matière organique	0,2	-0,2	0,2	-0,2	0,2	-0,2	0,2	-0,2
Fumure organique	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2
Paille	0,5	1,4	0	0	1,1	3,5	0	0
Engrais	21	0	21	0	21	0	21	0
PNT	4	35	4	35	4	35	4	35
Fixation P	-26,1	26,1	-26,1	26,1	-26,1	26,1	-26,1	26,1
Eau Niger	0	0	0	0	0	0	0	0
Eau nappe	0	0	0	0	0	0	0	0
Lixiviation	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan	17,4	646,5	16,9	645,1	18	648,6	16,9	645,1
Exportation	8	0	8	0	15	0	15	0
Bilan année 1 +PNT	9,4	646,5	8,9	645,1	3	648,6	1,9	645,1
Bilan total +PNT		55,9		54		51,6		47
Bilan année 1 -PNT	5,4	611,5	4,9	610,1	-1	613,6	-2,1	610,1
Bilan total -PNT		16,9		15		12,6		8

	RENDEMENTS FAIBLES		RENDEMENTS ELEVES	
Rendement grain:	2000	2000	4000	4000
Rendement paille:	2750	2750	6500	6500

Réserve en P dans le sol en début: 600 kg P/ha (110 ppm P-total 0-40cm).

Engrais (kg/ha) 100 DAP + uree; 21 % P dans le DAP. Coefficient d'utilisation 100 %.
 PNT: 300 kg/ha, chaque 5 ans; 30 % P205, 10 % disponible chaque an.

Fumure org. 1 t chaque 2 an; 0.2 % P. Coefficient d'utilisation 75 %.

Taux de phosphore disponible dans le sol: P-assimilable 0-40 cm: 3 ppm (Bray 2)
 Matière organique 0.5 %, 1 % mineralisation/an, 0.5 % P.

Lessivage - 300 mm/an, pertes en P estimé 0 kg P/ha/an.

Paille % P: 0,07 Eau irrig-ppm P: 0,003 Eau nappe-ppm P: 0,02

Fixation P: 90 % de P-disponible de l'engrais et 40 % de la mineralisation et 20 % du PNT;
 10 % de P-fixé sera disponible pendant l'année prochaine.

Riz irrigué. Bilan du potassium.

K	RENDEMENTS FAIBLES				RENDEMENTS ELEVES			
	Paille enfouie		Paille exportée		Paille enfouie		Paille exportée	
	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve
Riz irrigué								
Moursi-Dian								
Mineralisation sol	500	24500	500	24500	500	24500	500	24500
Pluie	3	0	3	0	3	0	3	0
Matière organique	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique	3,9	2,6	3,9	2,6	3,9	2,6	3,9	2,6
Paille	21	63	0	0	49	146	0	0
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Fixation K	0	0	0	0	0	0	0	0
Eau Niger	6	0	6	0	6	0	6	0
Eau nappe	1,1	0	1,1	0	1,1	0	1,1	0
Lixiviation	-8	0	-8	0	-8	0	-8	0
Pertes eau-irr.	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan	527	24565,6	506	24502,6	555	24648,6	506	24502,6
Exportation	60	0	60	0	99	0	99	0
Bilan année 1	467	24565,6	446	24502,6	456	24648,6	407	24502,6
Bilan total		32,6		-51,4		104,6		-90,4

	RENDEMENTS FAIBLES		RENDEMENTS ELEVES	
Rendement grain:	2000	2000	4000	4000
Rendement paille:	2750	2750	6500	6500

Réserve en K dans le sol: -non-échangeable 25000 kg K/ha (0.5 % K-total, 0-40cm).
échangeable 0.30 me K/100 g sol 0-20 cm; 0.20, 20-40 cm).

Engrais (kg/ha) 100 DAP + uree; rien de K.

Fumure org. 1 t chaque 2 an; 1.3 % K. Coefficient d'utilisation 100 %.
_ 80 % sera disponible pendant la première année, 20 % pendant la deuxième année.

Lessivage _ 300 mm/an, pertes en K estimé à 8 kg K/ha/an.

Paille % K: 3 Eau irrig.-ppm K: 1 Eau nappe -ppm K: 10,5

Riz irrigué. Bilan du calcium.

Ca	RENDEMENTS FAIBLES				RENDEMENTS ELEVES			
	Paille enfouie		Paille exportée		Paille enfouie		Paille exportée	
Riz irrigué	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve
Moursi-Dian	930	9070	930	9070	930	9070	930	9070
Mineralisation sol	17	0	17	0	17	0	17	0
Pluie	0	0	0	0	0	0	0	0
Matière organique	4	1	4	1	4	1	4	1
Fumure organique	2	6	0	0	5	15	0	0
Paille	0	0	0	0	0	0	0	0
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Fixation Ca	0	0	0	0	0	0	0	0
Eau Niger	16	0	16	0	16	0	16	0
Eau nappe	19	0	19	0	19	0	19	0
Lixiviation	-30	0	-30	0	-30	0	-30	0
Pertes eau-irr.	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan	958	9077	956	9071	961	9086	956	9071
Exportation	8	0	8	0	14	0	14	0
Bilan année 1	950	9077	948	9071	947	9086	942	9071
Bilan total		27		19		33		13

	RENDEMENTS FAIBLES		RENDEMENTS ELEVES	
Rendement grain:	2000	2000	4000	4000
Rendement paille:	2750	2750	6500	6500

Réserve en Ca dans le sol: -non-échangeable 0.2 % Ca, 0-40cm.
échangeable 8 me Ca/100 g sol 0-20 cm; 10 me/100 g sol 20-40 cm).

Engrais (kg/ha) 100 DAP + uree; rien de Ca.

Fumure org. 1 t chaque 2 an; 1.0 % Ca. Coefficient d'utilisation 100 %.
_ 80 % sera disponible pendant la première année, 20 % pendant la deuxième année.

Lessivage _ 300 mm/an, pertes en K estimé à 30 kg Ca/ha/an.

Paille % Ca: 0,3 Eau irrig.-ppm Ca: 2,8 Eau nappe -ppm Ca: 64

Riz irrigué. Bilan du magnésium.

Mg	RENDEMENTS FAIBLES				RENDEMENTS ELEVES			
	Paille enfouie		Paille exportée		Paille enfouie		Paille exportée	
Riz irrigué	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve
Moursi-Dian	2300	17700	2300	17700	2300	17700	2300	17700
Mineralisation sol	2	0	2	0	2	0	2	0
Pluie	0	0	0	0	0	0	0	0
Matière organique	2,4	0,6	2,4	0,6	2,4	0,6	2,4	0,6
Fumure organique	1,5	4,5	0	0	3,3	9,7	0	0
Paille	0	0	0	0	0	0	0	0
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Fixation Mg	8	0	8	0	8	0	8	0
Eau Niger	7	0	7	0	7	0	7	0
Eau nappe	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
Lixiviation	0	0	0	0	0	0	0	0
Pertes eau-irr.	2307,9	17705,1	2306,4	17700,6	2309,7	17710,3	2306,4	17700,6
Bilan	6	0	6	0	10	0	10	0
Exportation	2301,9	17705,1	2300,4	17700,6	2299,7	17710,3	2296,4	17700,6
Bilan année 1								
Bilan total		7		1		10		-3

	RENDEMENTS FAIBLES		RENDEMENTS ELEVES	
Rendement grain:	2000	2000	4000	4000
Rendement paille:	2750	2750	6500	6500

Réserve en Mg dans le sol: -non-échangeable 17700 kg Mg/ha (0.4 % Mg-total, 0-40cm).
échangeable 3.5 me Mg/100 g sol 0-20 cm; 4 ne/100 g sol 20-40 cm).

Engrais (kg/ha) 100 DAP + uree; rien de Mg.

Fumure org. 1 t chaque 2 an; 0.6 % Mg. Coefficient d'utilisation 100 %.

- 80 % sera disponible pendant la première année, 20 % pendant la deuxième année.

Lessivage - 300 mm/an, pertes en Mg estimé à 13 kg Mg/ha/an.

Paille % Mg: 0,2

Eau irrig.-ppm Mg: 1,4

Eau nappe -ppm Mg: 24

Riz irrigué. Bilan du soufre.

S	RENDEMENTS FAIBLES				RENDEMENTS ELEVES			
	Paille enfouie		Paille exportée		Paille enfouie		Paille exportée	
Moursi-Dian	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve	Disponible	Réserve
Mineralisation sol	0,4	159,6	0,4	159,6	0,4	159,6	0,4	159,6
Pluie	5	0	5	0	5	0	5	0
Matière organique	0,2	-0,2	0,2	-0,2	0,2	-0,2	0,2	-0,2
Fumure organique	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4
Paille	0,8	2,2	0	0	1,8	5,2	0	0
Engrais	0	0	0	0	0	0	0	0
Fixation S	0	0	0	0	0	0	0	0
Eau Niger	1	0	1	0	1	0	1	0
Eau nappe	4	0	4	0	4	0	4	0
Lixiviation I	-13	0	-13	0	-13	0	-13	0
Lixiviation II	-6	0	-6	0	-6	0	-6	0
Pertes eau-irr.	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilan - Lix. I	-1,5	162	-2,3	159,8	-0,5	165	-2,3	159,8
Bilan - Lix. II	5,5	162	4,7	159,8	6,5	165	4,7	159,8
Exportation	3	0	3	0	7	0	7	0
Bilan annuel - Lix.I	0	162	0	159,8	0	165	0	159,8
Bilan annuel- Lix.II	2,5	162	1,7	159,8	0	165	0	159,8
Lix. I - Bilan total		2		-0,2		5		-0,2
Lix.II - Bilan total		4,5		1,5		5		-0,2

	RENDEMENTS FAIBLES		RENDEMENTS ELEVES	
Rendement grain:	2000	2000	4000	4000
Rendement paille:	2750	2750	6500	6500

Réserve en S dans le sol: 0.004 % S-total 0-20 cm; 0.002 %, 20-40 cm.
S-disponible comparé avec N: 10 % de N-minéralisé.

Engrais (kg/ha) 100 DAP + uree; rien de S.

Fumure org. 1 t chaque 2 an; 0.1 % S. Coefficient d'utilisation 35 % ?
_ 80 % sera disponible pendant la première année, 20 % pendant la deuxième année.

Lessivage _ 300 mm/an, pertes en S sont estimées aux deux niveaux: lixiviation I - 13 kg S/ha/an.
lixiviation II - 6 kg S/ha/an.

Paille % S: 0,1

Eau irrig.-ppm S: 0,14

Eau nappe -ppm S: 14

Annex VIII. Liste des types de prélèvements des plantes.

	<u>Stade de croissance</u>	<u>Partie de la plante</u>	<u>Éléments</u>
Arachide:	30-35 JAS (variétés hâtives), 40-45 JAS (variétés tardives).	- 4 ^{eme} feuille au-dessus des rameaux cotyledonnaires des variétés rampants.	K-def., P-def.
		- 6 ^{eme} feuille au-dessus des rameaux cotyledonnaires des variétés érigées.	K-def., P-def.
		- 8 ^{eme} feuille au-dessus des rameaux cotyledonnaires.	K-def.
	Avant floraison.	- Feuille adulte la plus jeune de la tige principale près d'apex.	Al-tox., Ca-def., K-def., K-tox., Mg-def., Mn-tox., N-def., N-tox., P-tox., S-def.
	Commencement de la formation des gousses ("early pegging stage") (70-84 JAS).	- Partie supérieur de la tige et quelques feuilles près d'apex.	Ca-def., Mg-def., N-def., S-def.
Blé:	("Early", 2-3 leaf")	- Partie aérienne.	P-tox.
	Tallage ("35 JAS).	- Les feuilles adultes les plus jeunes.	K-def., Mn-tox., N-def.
		- Partie aérienne.	K-def.
		- La limbe de la feuille ("leafblade").	K-tox., N-tox.
	FS 2, 42 JAS.	- La feuille adulte la plus jeune.	P-def.
		- Partie aérienne.	P-def.
	Tallage jusqu'à floraison.	- La limbe d'une feuille adulte la plus jeune.	K-def.
	Croissance vegetative rapide.	- Partie aérienne.	Ca-def., S-def.
		- Les feuilles adultes les plus jeunes (2 + 3 ^{emes} feuilles sous l'épi).	Ca-def., Mg-def.
	FS 3, 56 JAS.	- La feuille adulte la plus jeune.	P-def.
		- Partie aérienne.	N-def., P-def.
	FS 3-5, tallage.	- La limbe de la feuille adulte la plus jeune.	P-tox.
	FS 4, 70 JAS.	- La feuille adulte la plus jeune.	P-def.
- Partie aérienne.		P-def.	
FS 5-6, 84 JAS.	- La feuille adulte la plus jeune.	P-def.	
	- Partie aérienne.	N-def., P-def.	
FS 9-10 ("Shooting").	- Partie aérienne.	N-def.	
	- La limbe de la feuille ("leafblade"), près d'apex.	Al-tox., K-tox., N-tox., P-tox.	

<u>Stade de croissance</u>	<u>Partie de la plante</u>	<u>Éléments</u>
	- Les feuilles adultes les plus jeunes.	N-def.
Epiaison (FS10.1).	- Partie aérienne.	Ca-tox., K-def., K-tox., Mg-def., Mg-tox., Mn-tox.
		N-def., N-tox., P-def., P-tox., S-def., S-tox.
Floraison.	- La limbe de la feuille ("leafblade").	K-tox., N-tox., P-def., P-tox.
	- Partie aérienne.	P-tox.
	- Les feuilles adultes les plus jeunes.	N-def.
Canne à sucre: 35 JAS.	- Les limbes des feuilles 3-6 ("blades 3-6").	S-def.
	- Partie aérienne.	K-def., S-def.
Croissance vegetative rapide.	- Les limbes des feuilles 3-6 ("blades 3-6").	N-def., S-def.
2 MAS (repousse), 3 MAS (non-repousse)	- La 3 eme feuille (dénervé) près d'apex.	N-def.
2-4 MAS	- La limbe de la 3 eme feuille dénervé près d'apex (= "TVD").	Ca-tox., Mg-def., Mg-tox., Mn-tox.
3 MAS (repousse), 5 MAS (non-repousse).	- La 3 eme feuille (dénervé) près d'apex.	N-def.
2-10 MAS	- La 3 eme feuille (dénervé?) près d'apex.	P-def.
70 JAS.	- Les limbes des feuilles 3-6 ("blades 3-6").	S-def.
3-7 MAS	- La 3 eme feuille (dénervé) près d'apex.	N-tox., P-tox.
4-6 MAS	- Les limbes des feuilles 3-6 ("blades 3-6").	Ca-def., K-def.
4-7 MAS (repousse), 6-10 (non-repousse).	- La 3 eme feuille (dénervé) près d'apex.	N-def.
4-10 MAS	- La 3 eme feuille dénervé près d'apex ("top visible dewlap, TVD").	K-def., K-tox.
	- La limbe de la 3 eme feuille dénervé près d'apex ("top visible dewlap", TVD).	S-def.
	- Les 3 eme et 4 eme feuilles adultes (dénervé?) près d'apex.	K-def.
6-10 MAS	- Une partie de la tige ("entre-noeuds 8-10").	K-def., Mg-def.
7-11 MAS	- La 3 eme feuille (dénervé) près d'apex.	P-tox.
?	- La 3 eme feuille dénervé près d'apex.	P-tox.

	Stade de croissance	Partie de la plante	Elements
Coton:	Pré-floraison ("42 JAS).	- Partie aérienne ou la feuille adulte la plus jeune près d'apex.	Al-tox.,N-tox.
		- La feuille adulte la plus jeune.	P-def.
		- Les feuilles sur les tiges 3-7. - Les feuilles sur les noeuds 3-4.	N-def. N-def.
	Première fleur (84 JAS).	- La feuille adulte la plus jeune près d'apex.	Mn-tox.
		- Petiole de la feuille adulte la plus jeune.	N-def.,N-tox.,P-tox.
	Première (jusqu'à maximum) floraison.	- Les feuilles adultes les plus jeunes près d'apex (surtout pour le coton irrigué).	Ca-def.,K-def.,Mg-def., N-def.
		- Les feuilles adultes les plus jeunes.	S-def.
	Floraison (demi-saison).	- Petiole de la feuille adulte la plus jeune.	N-def.,N-tox.,P-tox.
		- Petioles.	K-tox.
	2-5 MAS.	- Petiole de la feuille adulte la plus jeune.	N-tox.,P-tox.
		- La feuille adulte la plus jeune.	P-def.
	("Early fruit, squearing ?")	- La feuille adulte la plus jeune.	P-def.
		- La feuille adulte la plus jeune.	P-def.
Maturité ("late maturity").	- La feuille adulte la plus jeune.	P-def.	
	- Petiole de la feuille adulte la plus jeune.	P-tox.	
Récolte.	- Grain.	P-tox.	
Mais:	("Early?")	- Partie aérienne.	P-tox.
		- Partie aérienne ou seulement les feuilles adultes les plus - Feuilles.	S-def. K-tox.,Mg-def.
	30-45 JAS. stade vegetative, 3-5 feuilles.	- Les feuilles adultes les plus jeunes.	K-def.,P-def.
		- La feuille sous la feuille de l'épi.	K-def.
		- Le tiers central de la feuille (dénervé?) de l'épi.	Ca-def.,Mg-def.
		- Partie aérienne.	P-def.
		- La feuille de l'épi.	N-def.,P-def.
		- Partie aérienne.	P-tox.
	Floraison	- La 6 eme feuille de base.	K-def.,N-def.
		- Le tiers central de la feuille (dénervé) de l'épi et la feuille juste au-dessous l'épi.	Mn-tox.
	Floraison jusqu'au début de la dessiccation des soies	- Le tiers central de la feuille de l'épi.	Al-tox.,Ca-def.,Ca-t, K-tox.,Mg-def.,Mg-tox., N-def.,N-tox.,S-def. S-tox.
		- La feuille en face et sous la feuille de l'épi.	K-def.

	Stade de croissance	Partie de la plante	Éléments
		- La limbe de la feuille de l'épi.	P-tox.
Mil:	Avant epiaison ("heading") ou à floraison.	- La 2 ^{ème} feuille à partir du sommet. - Partie aérienne.	Ca-def., Mg-def., Mn-def. Mg-tox.
	("3-4 weeks after clipping").	- Partie aérienne.	S-def.
	("4-5 weeks after clipping").	- Partie aérienne.	K-def., K-tox., N-def., N-tox., P-def., P-tox., S-tox.
Niébé:	20-45 JAS.	- Partie aérienne.	Mn-tox.
	?	- Feuilles adultes.	Ca-def., K-def., Mg-def.
	56 JAS	- Partie aérienne.	P-def.
	Floraison.	- La feuille adulte la plus jeune.	P-def., S-def.
	?	- Gousses verts ("green pods").	Ca-def.
	Maturité.	- Graines.	Ca-def., Mg-def., N-def., S-def.
		- Paille	P-tox.
Riz:	21-28 (25) JAS.	- La limbe d'une feuille jeune adulte. - Partie aérienne.	S-def. P-tox., S-tox.
	39 JAS.	- Partie aérienne.	S-tox.
	Tallage (FS 3-5).	- Partie aérienne. - Feuille paniculaire ("Y leaf blade").	Al-tox., Mn-tox., S-def. Mg-def., N-def., P-def.
	Tallage maximale, 42 JAS.	- La limbe d'une feuille jeune adulte. - Partie aérienne. - Feuille paniculaire ("Y leaf blade").	S-def. S-def. K-def.
	?	- Feuille adulte la plus jeune. - Feuille	N-tox. K-def.
	50 JAS.	- Partie aérienne.	P-tox.
	63 JAS.	- La limbe d'une feuille jeune adulte.	S-def.
	75 JAS	- Partie aérienne.	P-tox.
	("Panicule initiation")	- La feuille paniculaire ("Y leaf blade").	P-def.
	("Flower emergence")	- La feuille paniculaire ("Y leaf blade").	P-def.
	Floraison.	- Feuille paniculaire ?? ("Y leaf blade").	S-def.
	100 JAS.	- Partie aérienne.	Ca-tox., Mg-tox.

	Stade de croissance	Partie de la plante	Éléments
	Maturité.	- Grain.	S-def.
		- Paille.	Ca-def., K-def., (K-tox)
Soja:	36 JAS.	- Partie aérienne.	Mg-def., P-tox., S-def. S-def.
	Floraison.	- Les feuilles adultes les plus jeunes près d'apex.	K-def., K-tox., P-tox.
	Fin de floraison jusqu'à le commencement de la formation des gousses.	- Dernières feuilles adultes les plus jeunes.	Ca-def., N-def., N-tox., P-def.
	Le début de la formation des gousses ("early pod fill").	- Les feuilles adultes les plus jeunes.	Al-tox., K-def., Mg-def. Mn-tox., P-def.
	60 JAS.	- Partie aérienne.	S-def.
Sorgho:	Stade 2 croissance vegetative, 23-35 JAS.	- Partie aérienne.	K-def., Mn-tox., P-def. P-tox.
	Stade 3 croissance vegetative, "35 JAS.	- Partie aérienne.	Ca-tox., K-def., K-tox. Mg-tox., N-def., P-def., P-tox.
	Stade 3-5, croissance vegetative, 37-56 JAS.	- La (3 ^{eme} sous l'épi) feuille adulte la plus jeune près de sommet.	Al-tox., Ca-tox., K-def., Mg-def., N-def.
	Floraison ("full heading"), 66-70 JAS (stade 6?).	- La (3 ^{eme} sous l'épi) feuille adulte la plus jeune. - La 2 ^{eme} feuille adulte la plus jeune du apex.	Ca-def., K-def., Mg-def. Mg-tox., P-def. S-def., P-def., P-tox.
	Stade 6-8.	- La (3 ^{eme} sous l'épi) feuille adulte la plus jeune.	N-tox.
	Stade 7-8, après floraison ("early milky stage"), 82-97 JAS.	La 3 ^{eme} feuille à partir du sommet, la (3 ^{eme}) feuille adulte la plus jeune.	Ca-tox., K-def., Mg-def., Mn-tox., P-def., P-tox.

Bibliographie sur la fertilité des sols au Mali-sud et dans
l'Office du Niger et l'interprétation des données
analytiques du sol et de la plante.

Auteur(s)	Année	Titre	
ASA	1969	Physiological aspects of crop yield	Symposium Nebraska ASA, Wisconsin, USA.
Abruna-Rodriguez, F. et al.	1982	Effect of soil acidity factors on yields and foliar composition of tropical root crops.	Soil Sci. Soc. J. Am. , Vol. 46, 1004-1007.
Ackquaye, D.K. and H. Beringer	1989	Sulfur in Ghanaian soils. I. Status and distribution of different forms of sulfur in some typical profiles II. Assessment sulfur availability surface soil	Plant and Soil 113, 197-203, 205-211.
Adams, F.	1984	Crop response to lime in the southern United States. In: Soil acidity and liming, 2nd ed.	Agronomy 12: 211-265
Adams, F.	1984	Soil acidity and liming	second edition Agronomy, Nr 12 ASA, CSSA, SSSA Madison WI
Agromet., Mali	1986	Rapports annuels.	
Anderson, X.	1973	Potassium response of various crops in East Africa. In: Potassium in tropical crops and soils.	IPI, Bern.
Arrignon, J.	1987	Agro-écologie des zones arides et subhumides.	Techniques agricoles et productions tropicales G.-P. maisonneuve et Larose et ACCT Paris. Mimeo, AGP-SRCVO, Mali.
Bagayoko, M., J.F.Martiné et A. Traore	1984	Effet des pailles de riz enfouies et de l'azote sur les rendements du riz et les propriétés chimiques du sol en culture de riz irrigué à Kogoni	
Beaufils, E.R.	1957	Research for rational exploitation of Hevea brasiliensis using a physiological diagnosis based on the mineral analysis of various parts of the plant.	Fertilite 3:27.
Bell.L.C. and D.G.Edwards	1986	The role of aluminium in acid soil fertility	IBSRAM Conf on humid tropics.
Berger, J.	1969	The world's major fibre crops, their cultivation and manuring.	Publication no. 6. Centre d'étude de l'azote, Zurich, Switzerland.
Bloomfield, X.	1974	cited by Fox and Blair in Tabatakai 1986.	
Bookers	1984	Tropical soil manual.	Bookers Agriculture Int. Ltd., London.
Bould, C, E.J. Hewitt and P. Needham	1983	Diagnosis of mineral disorders in plants, Vol. 1 Principles.	Her Majesty's Stationery Office, London.
Boyer, J.	1973	Potassium behavior in tropical soils under cropping. In: Potassium in tropical crops and soils.	IPI, Bern.
Boyer, J.	1982	Les sols ferrallitiques. Facteurs de fertilité et utilisation des sols.	Tome X. ORSTOM, France.
Brinkman, R.	1970	Ferrollysis, a hydromorphic soil forming process.	Geoderma 3 (3):199-206.
Brook, R.H.	1983	Interpretation of analytical results. Part I, General introduction and Part II, Agricultural background information.	Soil Analysis Training Course KIT, Amsterdam.
Bruin, B. de et al.	1989	Net nitrogen mineralisation, nitrification and CO ₂ -production in alternating moisture conditions in unfertilized low-humus sandy soil from the Sahel	Plant and Soil 113, 69-78.
Bunting, E.S.	1981	LECS, assessment of the effects on yields of	Centre Soil Res. Bogor. FAO (AGOF/INS/78/006).

Bibliographie sur la fertilité des sols au Mali-sud et dans
l'Office du Niger et l'interprétation des données
analytiques du sol et de la plante.

Auteur(s)	Année	Titre	
		variations in climate and soil characteristics for twenty crop species.	
Chapman, H.D. (Ed.)	1966	Diagnostic criteria for plants and soils.	Univ. California, Div. Agric. Sciences.
Colland, J.F.	1986	Pour le maïs, toutes les étapes sont importantes.	Revue Suisse d'Agriculture 18, 2, 49-51.
Cooke, G.W.	1974	Change in amounts of fertilizers used and the forms in which they are produced, together with comments on current problems in valuing fertilizers and	using them efficiently. Cento Seminar on Fertilizer Analytical Methods, Sampling and Quality Control, Pakistan
Cutting C.V. et al.	1960	Assessment of fertility status and the maintenance of productivity of soils in Nyasaland	mimeo
Daubenmire, R.F.	1974	Plants and environment. 3rd Ed.	Wiley.
Diést, A. van	1986	Het voorkomen en gedrag van nutriënten in de bodem.	Derde oplage. College diktaat LU, Wageningen.
Diést, A. van	1986	Bodemvruchtbaarheidsaspecten van de natte rijstteelt	Doctoraalcaput "Bodemvruchtbaarheid en bemesting" Herziene oplage. Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding LUW, Wageningen.
Duke, J.A., D. Hurst and E.E. Terrell	1975	Ecological distribution of 1000 economic plants	Agronomia no. 1 IICA Tropicos, Turrialba, Costa Rica.
Dupriez, H. and P. de Leener	1983	Agriculture tropicale en milieu paysan africain.	Terres et vie L'Harmattan, Nivelles, Belgique
Dupriez, H. and Ph. de Leener.	1987	Jardins et vergers d'Afrique.	Terres et Vie L'Harmattan, Nivelles.
Eakin, J.H.	1972	Food and fertilizers. p.1-21	In: The Fertilizer Handbook, The Fertilizer Inst. Washington
Engelstad, O.P. (Ed.)	1985	Fertilizer technology and use	3 edition. SSSA Madison, Wisconsin, USA.
FAO	1978	Report on the agro-ecological zones project, Vol. 1 Methodology and results for Africa.	World Soil Resources Rep. 48. FAO, Rome.
FAO	1979	Yield response to water	Irrigation and drainage paper no. 33.
FAO	1980	Land resources for population of the future	Second FAO/UNEP expert consultation FAO, Rome.
FAO	1981	Niveaux de production des récoltes et emploi des engrais	Bulletin FAO: engrais et nutrition végétale No. 2. FAO, Rome.
FAO	1982	Le recyclage des résidus agricoles organiques en Afrique	Seminaire Lomé, Nov. 1980 Bull. Pédologique de la FAO 47 FAO, Rome.
FAO	1983	Fertilizer use under multiple cropping systems	FAO Fertilizer and plant nutrition bull. 5 FAO, Rome
FAO	1986	Application des systèmes fixateurs d'azote dans l'amélioration et l'aménagement des sols	par Y.A. Hamdi FAO Soils Bull. 49 FAO, Rome
FAO	1986	La conservation et l'aménagement des sols dans les pays en développement	FAO Soils Bull. 33 FAO, Rome.
FAO	1986	Aménagement des bassins versants, conservation des sols et des eaux	par N. Gil FAO Soils Bull. 44 FAO, Rome.
FAO	1987	Guide sur les engrais et la nutrition des plantes	FAO Fertilizer and plant nutrition bull. 9 FAO, Rome.
Fairbridge, R.W. and C.W.	1979	The encyclopedias of soil science, part 1.	Encyclopedia of Earth Sciences, Vol. XII.

Bibliographie sur la fertilité des sols au Mali-sud et dans
l'Office du Niger et l'interprétation des données
analytiques du sol et de la plante.

Auteur(s)	Année	Titre	
Finkl, jr. Findenegg, C.R. and B.H. Janssen. Gakou, A. et al.	1986	Plantevoeding en bemesting.	Davden, Hutchinson and Ross. Collegediktaat Afd. Bodemkunde en plantevoeding. IJ, Wageningen. d'experimentation à la station de N'Tarla Mimeo, Agronomie N'Tarla, Mali
Geus, D.G de Gigou, J.	1967 1989	Fertilizer guide Optimisation de le fertilisation des cultures dans la region Mali-sud.	International Potash Inst. Zürich Rapport d'une mission de consultation apres d la CMDT 25 Juin-13 Juillet 1989 Commande No.89-801, Min. Coop. Ministere de l Cooperation. L'Agronomie tropicale 42-3.
Gigou, J. et P.F. Chabaliér	1987	L'utilisation de l'engrais azoté par les cultures annuelle en Côte d'Ivoire	NOBEL, EMBRAPA-CPAC. Wiley.
Goedert, W.J. (Ed.) Goldsworthy, P.R. and N.M. Fischer. Gollmick, F. et al.	1986 1984 1970	Solos dos cerrados. The physiology of tropical field crops. Possibilities and limitations of plant analysis in estimating the nutrient requirement of crops 'in german8	Fortsschrittsber.f.d.Landw.u.Nahrungsgüterwirts haft 8, H.4
Grant, P.B.	1970	Lime as a factor in maize production. Part 1. The efficiency of lime, Vol. 67.	Rhod. Agric. J. no. 3, 73-80.
Grant, P.B.	1971	Lime as a factor on maize production. Part II. The effect of lime on yields and mineral composition of maize plants.	Rhod. Agric. J. Vol. 68, no. 2, 34-39.
Greenland, D.J.(Ed.)	1980	Characterization of soils in relation to their classification and management for crop production: examples from some areas of the humid tropics.	Clarendon Press, Oxford, UK.
Grimme, H. and A.S.R Juo	1985	Inorganic nitrogen losses through leaching and denitrification in soils of the humid tropics.In: Kang + Van der Heide (Eds).1985	Nitrogen management in farming systems in humid/subhumid tro IB, IITA
Haans, J.C.F.M. (Ed.)	1979	De interpretatie van bodemkaarten.	Rapport Werkgroep Interpretatie Bodemkaarten. Stadium C Stiboka, rapport no. 1463, Wageningen.
Hackett, C.	1988	Matching plants and land. Development of a general broadscale system from a crop project for Papua New Guinea.	CSIRO, Canberra, Australia.
Heide, J. van der (Ed).	1989	Nutrient management for food crop production in tropical farming systems	IB, Haren + Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia.
ICRISAT.	1984	Agro-meteorology of sorghum and millet in the semi-arid tropics.	Seminar. Nov., 1982.
IRAT	1980	Fertilisation minerale	par M. Poulain IRAT, Haute Volta (Ouagadougou)
Ilaco	1981	Agricultural Compendium	Elsevier
Jacob, A. and H. von Uexküll	1963	Fertilizer use, nutrition and manuring of tropical crops, 3rd ed.	Verlagsges.f.Ackerbau,Hannover

Bibliographie sur la fertilité des sols au Mali-sud et dans
l'Office du Niger et l'interprétation des données
analytiques du sol et de la plante.

Auteur(s)	Année	Titre	
Janssen, B.H.	1976	Bodemvruchtbaarheid II.	Collegediktaat, Vakgroep Bodenkunde en bemestingsleer LU, Wageningen.
Janssen, B.H. et al.	1987	A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils (QUEFTS)	submitted for publication to Geoderma.
Johnson, G.V.	1987	Sulfate: sampling, testing and calibration.	Soil testing: sampling, correlation, calibration and interp. SSSA, Special publ no 21
Jones, C.A. and J.E. Bowen.	1981	Comparative DRIS and crop log diagnosis of sugarcane tissue analyses.	Agronomy Journal Vol. 73.941-944.
Jung, G.A. (Ed).	1978	Crop tolerance to suboptimal conditions	ASA publ. no. 23
Kali und Salz	1978	Magnesium and sulphur for better crops, sustained high yield and profit.	Kali und Salz AG, Kassel, West Germany.
Kamprath, E.J.	1986	Soil fertility evaluation. In: L.K. Pleysier (Ed.) Proceedings of an international conference on laboratory methods and data exchange programs.	Techn. paper no 13. ISRIC, Wageningen.
Kang, B.T. and J. van der Heide	1985	Nitrogen management in farming systems in humid and subhumid tropics	IB/IITA IB, Haren, The Netherlands
Kemmler, G. and Hobt, H.	1980	Potash a product of nature.	112 p.
Keulen, H. van and J. Wolf.	1986	Modelling of agricultural production: weather, soils and crops.	Pudoc, Wageningen.
Khasawneh, F.E. et al.	1980	The role of phosphorus in agriculture	ASA,CSSA,SSA Wisconsin, USA.
Klapp E.	1951	Textbook of husbandry and crop science (german), 3rd ed., p.63	P.Parey-Verlag, Berlin
Kowal K.+ A.H. Kassam	1978	Agricultural ecology of savanna	Clarendon Press, Oxford, UK.
LECS	1981	Land evaluation system Indonesia	Bogor.
Levitt, J.	1980	Response of plants to environmental stresses, Vol. 1.	Acad. Press.
Lorenz, O.A. and D.N. Maynard.	1980	Knott's handbook for vegetable growers, 2nd Ed.	John Wiley.
Loynet, G.	1987	Synthese thematique des études conduites par l'IRAT depuis 1961 sur les techniques culturales du sorgho	IRAT Division des systemes pluviaux. Mimeo.
Martiné, J.F., A. Traore, M. Bagayoko	1987	Etude de la réponse au potassium de différentes cultures à Sikasso et Kita.	SRCVO
Mengel K. and E.A. Kirkby.	1982	Principles of plant nutrition.	Int. Potash Inst. Bern, Switzerland.
Midmore, D.J.	1984	Wheat in tropical environments I + II.	Field Crop Res. 5, 185-200 (1982) and 8, 207-227 (1984).
Mokwunye, A.U. and P.L.G. Vlek	1986	Management of nitrogen and phosphorus fertilizers in sub-saharan Africa	Symposium Lomé, Togo (1985) IFDC, Alabama Martinus Nijhoff, Dordrecht
Moormann, F.R. and W.J. Veldkamp	1980	Land and rice in Africa: constraints and potentials. In: Rice in Africa, Buddenhagen+Persley (Eds.)	Academic Press, London.
Munson, R.D.	1975	Potassium in agriculture	ASA,CSSA,SSA Wisconsin, USA.
Müller-Sämann, K.M.	1986	Bodenfruchtbarkeit und standortgerechte	GTZ Schriftenreihe, no. 195, Eschborn, We

Bibliographie sur la fertilité des sols au Mali-sud et dans
l'Office du Niger et l'interprétation des données
analytiques du sol et de la plante.

Auteur(s)	Année	Titre	
		Landwirtschaft.	Germany.
Nair et al.	1980	Multipurpose leguminous trees and shrubs for agro-forestry.	Agroforestry systems Vol. 2, no. 3, 145-163.
Nair, P.K.R.	1980	Agroforestry species - a crop sheets manual.	ICRAF 003e Nairobi, Kenya.
Neubert, P. et al.	1970	Tables of plant analysis 'in german8	Inst. of Plant Nutrition, Jena, DDR.
North Carolina State University	1974	Fertility Capability system	
Okigbo, B.N.	1980	A review of cropping systems in relation to residue management in the humid tropics of America	in: Organic recycling in Africa, Rome, FAO, 13-37.
PCARRD+SMSS	1986	Environmental adaptation of crops	Book Series No. 37/1986 Philippine Council for Agriculture and Resources Research and Development, Los Banos
PIRT	1983	Atlas, Mali	TANS, Washington
Pearson, R.W.	1975	Soil acidity and liming in the humid tropics.	Cornell Int. Agric. Bull. no. 30.
Penning de Vries, F.W.T. and M.A. Djiteye.	1982	La productivité des paturages sahéliens.	Agric. Res. Rep. 918. Pudoc, Wageningen.
Pieri, C.	1971	Le point sur les essais de fertilisation des céréales de culture sèche réalisés au Mali de 1954 à 1970.	Mimeo.
Pieri, C.	1974	Premiers résultats expérimentaux sur la sensibilité de l'arachide à la toxicité aluminique	Agronomie tropicale Vol. 29, 685-696
Pieri, C.	1976	L'acidification des terres de cultures exondées au Sénégal	Agronomie Tropicale 31-4, 339-368
Pieri, C.	1985	Bilans minéraux des systèmes de cultures pluviales en zones arides et semi-arides	Agronomie tropicale 40-1, 1-20
Pieri, C.	1986	Fertilisation des cultures vivrières et fertilité des sols en agriculture paysanne subsaharienne	Agronomie tropicale 41-1, 1-20
Pieri, C.	1989	Fertilité des terres de savanes	Coop. française + CIRAD-IRAT
Plucknett, D.L. and H.B. Sprague	1989	Detecting mineral nutrient deficiencies in tropical and temperate crops	Westview Tropical Agriculture Series, No 7 Westview, USA
Ponnampetuma, F.N.	1966	Dynamic aspects of flooded soils In: The mineral nutrition of rice.	IRRI John Hopkins Press, NY.
Poulain, J.F.	1978	Note technique: Sur la fertilisation minérale et ses conditions d'application. Haute Volta.	Mimeo. IRAT.
Protz, X.	1978	Soil properties, important for various tropical crops. Pahang Tenggara Master Planning study. Soil Resources inventories and development planning.	Cornell Univ. Monograph no. 1 SMSS 1981.
Reuter, D.J. and J.B. Robinson	1986	Plant analysis, an interpretation manual.	Inkata Press, Melbourne, Sydney
Ritchey, K.D.	1979	Potassium fertility in oxisols and ultisols of the humid tropics.	Cornell Int. Agric. Bull. no. 37.
Robson, A.D. (Ed.)	1989	Soil acidity and plant growth	Academic Press, Australia
Roche, P. et al.	1980	Le phosphore dans les sols intertropicaux: appréciation des niveaux de carence et des besoins en phosphore.	Publ. Scient. no. 2. IMPHOS, Paris.

Bibliographie sur la fertilité des sols au Mali-sud et dans
l'Office du Niger et l'interprétation des données
analytiques du sol et de la plante.

Auteur(s)	Année	Titre	
Rodale, J.I.	1973	How to grow vegetables and fruits by the organic method.	Rodale Books, Inc. Emmaus, Penn. USA.
Roose, E.	1981	Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale	Travaux et documents de l'ORSTOM No. 130 ORSTOM, Paris.
Rosmalen, H.A.	1984	Background information on plants and plant analysis.	Soil and plant analysis training course. Amsterdam.
SECVO-AGO	1981	Rapports Commission technique 1981-1989	IER-DRA, Mali
Sah, R.E., D.S. Mikkelsen (+ A.A. Hafez)	1989	Phosphorus behavior in flooded-drained soils. I. Effects in P-sorption II. Iron transformations and P-sorption III. P-desorption and availability.	Soil Sci. Soc. Am. J. 53:1718-1732.
Sanchez, P.A.	1976	Properties and management of soils in the tropics.	Interscience. Wiley.
Sanchez, P.A.	1982	A legume based pasture production strategy for acid infertile soils of tropical America.	ASA publ. no. 43 Soil erosion and soil conservation in the tropics.
Sims, D.	1981	Agroclimatical information, crop requirements and agricultural zones for Botswana.	Land Util. Div., Min. Agric. Gaborone, Botswana.
Singh, B.R.	1985	Effect of liming on soil properties of oxisols and alfisols	Soil Taxonomy Forum Lusaka.
Sol/eau/plante Stanford, G.	1986	Rapports annuels Commission technique 1986-1987.	IER-DRA, Mali.
	1978	Nitrogen transformations and behaviour in soils in relation to nitrogen availability for crops.	FAO Soils Bull. no. 37. FAO, Rome.
Stevenson, F.J.	1982	Nitrogen in agricultural soils	ASA Monograph no. 22 ASA, CSSA, SSSA, Wisconsin, USA.
Sumner, M.E.	1981	Diagnosing the sulfur requirements of corn and wheat using foliar analysis.	Soil Sci. Soc. Am. J. 45:87-90.
Sys, C. and J. Riquier	1980	Ratings of FAO/UNESCO soil units for specific crop production in: Land Resources for populations of the future.	Second FAO/UNFPA Expert Consultation FAO, Rome.
Tabatabai, M.A. (Ed.)	1986	Sulfur in agriculture	Agronomy Nr. 27. ASA, CSSA, SSSA Madison, WI, USA.
Takai, y. et al.	1957	Microbial metabolism of paddy soils	J. agr. chem. soc. japan 31, 211- 220
Tanaka, A. and S. Yoshida	1975	Nutritional disorders of the rice plant in Asia	IRRI, Los Banos, Philippines
Tindall, H.D.	1983	Vegetables in the tropics.	MacMillan Press Ltd.
Tisdale, S.L., W.L. Nelson.	1975	Soil fertility and fertilizers, 3rd edition.	MacMillan Pub. N.Y., USA.
Tisdale, S.T., W.L. Nelson and J.D. Beaton	1985	Soil fertility and fertilizers, 4th ed.	MacMillan, NY.
Traore, A.	1986	Resumé	Unpublished mimeo
Traore, A. and J.F. Martiné	1987	Fertilisation et maintien de la fertilité des sols rotations et associations culturales au Mali.	Conf. Les cultures associees au Mali, Banako IER-ICRISAT.
Traore, M.F.	1974	Etude de la fumure minerale azotée intensive des céréales et du role spécifique de la matière organique dans la fertilité des sols au Mali	Agronomie tropicale Vol. 29, 567-586
Uehara G. and G. Gillman.	1981	The mineralogy, chemistry and physics of tropical	Westview Tropical Agriculture Series, no. 4

Bibliographie sur la fertilité des sols au Mali-sud et dans
l'Office du Niger et l'interprétation des données
analytiques du sol et de la plante.

Auteur(s)	Année	Titre	
		soils with variable charge clays.	
Uexkull, H.R. Von and R.P. Bosshart	1986	Improvement in K-utilization efficiency in estate crop production	Symp. "K-use in estate crop production, Medan, Indonesia
Uexkull, H.R. von.	1986	Efficient fertilizer use in acid upland soils of the humid tropics.	FAO Fertilizer and plant nutrition bull. 10. FAO, Rome.
Veldkamp, W.J.	1979	Land evaluation of valleys in a tropical rain forest area	Ph.D. thesis, Agric. Univ., Wageningen
Veldkamp, W.J.	1980	Soil survey and land evaluation in the Mano River Union area: eastern Sierra Leone and western Liberia.	Sierra Leone, Liberia Mano River Union, Freetown.
Veldkamp, W.J.	1987	Reconnaissance/semi-detailed semi-quantified land evaluation system for non-irrigated (rainfed) agriculture.	Soil Survey Unit Techn. guide no. 19 Chilanga, Zambia.
Veldkamp, W.J.	1990	Estimation des pertes des éléments nutritifs des sols moyens du Mali-sud sous quelques régimes d'érosion	Mimeo AGP/SRCVO
Veldkamp, W.J. et al.	1986	Agro-climatic zones of Zambia.	Soil Survey Unit Bulletin no. 9 Chilanga, Zambia.
Veldkamp, W.J., K. Jeanes and F. Shalwindi	1987	Agro-ecological zonation and related work in Zambia. In: Dynamics of agricultural policy and reform in Zambia.	Iowa Univ. Press.
Velly, J. C. Egonmenides et J. Pichot	1980	L'azote extractible par une solution de KCl et la fourniture d'azote à la plante dans 40 sols tropicaux.	L'Agronomie tropicale 35 (4): 374-380.
Wielemecker, W.G. and H.W. Boxem (Eds.)	1982	Soils of the Kisii area, Kenya.	Agric. Res. Rep. 922. Pudoc, Wageningen.
Wiersum, K.F. (Ed.)	1988	Viewpoints on Agroforestry	Second, renewed edition. Hinkeloord LUW, Wageningen.
Willigen, P. de en M. van Noordwijk	1987	Roots, plant production and nutrient use efficiency	Ph.D., LU, Wageningen, The Netherlands.
Yates, R.M.	1978	The environment for sugarcane. In: Land evaluation standards for rainfed agriculture.	World Soil Res. Rep. no. 49 FAO, Rome.

