

Agro

Papier Retardé

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT
INDUSTRIELLE ET DU TOURISME

DIRECTION GÉNÉRALE DE LA SONAREM
PROJET PHOSPHATES

Discussions et obs.
pour le 9/11/90
dans la salle de
conférence de la DNV
à partir de 9h00 précises

29/10/90

[Signature]
Mettez Jamin
à Contribution

LE PHOSPHATE DU TILEMSI :

Quelques informations sur sa production industrielle
et son utilisation dans l'agriculture

F11

Syst

RETAIL RD

N° 516

B00
1130

UPDCO
BIBLIOTHÈQUE
N° F11
Date: 30/10/90

Mars 1988

OFFICE DU NIGER
Zone de Niamey
REÇUE
1343
30-10-90
L

Première Partie

Production du Phosphate naturel du Tilemsi

Kati - Mars 1988

Avant-propos

Le présent document répond au besoin pressent de rassembler les informations parcellaires disponibles sur la production et l'utilisation du phosphate naturel du Tilemsi, afin de les mettre à la disposition des consommateurs, des distributeurs et des instances de décision en matière de politique agricole.

Ce rapport qui n'a pas la prétention d'être exhaustif, surtout sous sa forme actuelle, est appelé à être périodiquement complété et réactualisé.

Le but principal du document étant de mieux faire connaître le produit qu'est le phosphate du Tilemsi, il est accordé une place de choix aux informations agronomiques.

Le rapport comprend deux parties :

a) La première partie présente les données sur la production. Elle a été élaborée par la SONAREM.

b) La deuxième partie présente la synthèse des résultats de recherches agronomiques. Elle a été élaborée à la demande de la SONAREM par des chercheurs qui ont eu à s'occuper des tests sur le phosphate du Tilemsi. Elle peut être considérée comme la deuxième synthèse sur le phosphate du Tilemsi, la première datant de 1978 (voir bibliographie).

En annexes joints à cette deuxième partie sont présentées les questions et remarques de la SONAREM et les réponses des auteurs.

.../...

TABLE DES MATIERES

	Pages
1. Introduction.....	1
2. Situation du gisement et caractéristiques du minerai....	1
3. Production.....	2
4. Distribution.....	3
5. Prix de vente.....	4
6. Informations pratiques sur l'utilisation du phosphate naturel du Tilemsi.....	4
7. Perspectives.....	4

I. Introduction

Déjà connus dans les années 1930, les phosphates de la vallée du Tilemsi n'ont pas été exploités pour des raisons diverses, dont les différences d'appréciations sur leur quantité (appréciations le plus souvent défavorables).

En 1968-69, la Société Klockner a fait l'étude d'un traitement classique du phosphate du Tilemsi. Les conclusions en sont défavorables à cause principalement des oxydes de fer et d'aluminium contenus dans le phosphate.

Cependant dans les années 1960-70, la SONAREM a pour les besoins des tests agronomiques, produit en petites quantités du phosphate naturel broyé.

Suites aux résultats agronomiques encourageants enregistrés, la SONAREM a entrepris la production du phosphate naturel du Tilemsi (PNT) dès 1976 après avis du Ministère de l'Agriculture (voir annexe N° 1).

Les principales raisons ayant motivé la production du PNT sont les suivantes :

- 1) La nature acide de la plupart des sols cultivés au Mali, pour l'amendement desquels le phosphore est tout indiqué. Les résultats des test menés jusque là le prouvent. Sur le plan théorique l'utilisation de la forme naturelle était reconnue possible dès le départ à cause de la relativement bonne solubilité qui atteint 61 % dans l'acide formique 2 %, supérieure à la limite de 55 % retenue par la Commission des Communautés Européennes pour l'emploi direct en agriculture.
- 2) Le coût de plus en plus élevé des engrais importés, hors de proportion avec l'augmentation des revenus des paysans.
- 3) Les dépenses de plus en plus importantes en devises pour l'importation des engrais.

2. Situation du gisement et caractéristiques du minéral

Le gisement en exploitation est celui de Tamaguilelt, plateau résiduel situé dans la vallée du Tilemsi dans le nord du Mali, à quelques 120 km de Bourem. Ses coordonnées géographiques sont 0°15' de longitude Est et 17°38' de latitude nord (voir carte en annexe n° 2).

Les sables phosphatés se rencontrent dans les formations sédimentaires d'âge éocène moyen.

Ils se présentent en deux couches : une couche à faciès fin argileux, de couleur jaune et une couche à faciès grossier, de couleur gris-noir.

L'épaisseur maximum des deux couches est de 2,5 m.

Le minéral principal des sables phosphatés est constitué par de l'apatite.

La teneur moyenne des couches exploitées est de l'ordre de 30 % de P_2O_5 .

En annexe n° 3 et 4 sont données les compositions chimiques et granulométrique du minéral.

Les réserves sont évaluées à quelques 20 millions de tonnes dont 2 à 5 millions, situés sur les bordures du plateau, sont exploitables à ciel ouvert.

3. Production

Le produit livré à la consommation est du phosphate naturel (non traité chimiquement), moulu à la finesse moyenne de 100 microns, et présenté en sacs de 50 Kgs.

Le processus de production comprend les étapes suivantes :

- 1) Extraction et chargement sur des camions à Tmaguilelt. Ces opérations se font à l'aide de bulldozer (accessoirement de grader) et de chargeuse.
- 2) Transport de Tamaguilelt à Bourem sur une piste assez difficile de 120 km avec des camions-bennes de 15 tonnes.
- 3) Broyage à l'usine à Bourem à l'aide d'un broyeur à 3 pendules de 7,5 t/h.
- 4) Ensachage et stockage. Le stockage se fait sous des hangars situés sur le quai fluvial (tout comme l'usine).

La capacité des hangars est d'environ 6 000 tonnes.

Les productions par campagne depuis le démarrage de l'usine de Bourem en 1980 sont les suivantes :

1980/81	:	4 529 tonnes
1981/82	:	499 -"-
1982/83	:	449 -"-
1983/84	:	3 250 -"-
1984/85	:	3 460 -"-
1985/86	:	7 047 -"-
1986/87	:	3 452 -"-
1987/88	:	8 092 -"-

Si besoin est, cette usine peut produire jusqu'à 36 000 tonnes par an.

Avant 1981 le broyage se faisait à Markala et Mopti sur de petites installations et les quantités ont été les suivantes :

1976	:	20 tonnes
1976/77	:	570 -"-
1977/78	:	590 -"-
1978/79	:	1 410 -"-
1979/80	:	1 408 -"-

Il est à préciser que de 1976 à 1980, la SONAREM a produit par ses propres moyens internes, dont des broyeurs à marteaux de faibles capacités de l'ordre de 0,5 à 1 tonne/heure.

.../...

A partir de 1980, l'assistance de la République Fédérale d'Allemagne a permis à la SONAREM de disposer d'équipements plus performants, dont un broyeur de 7,5 tonnes/heure.

4. Distribution

La presque totalité de la production de phosphate est consommée loin du centre de production. La SONAREM assure la distribution du produit le long de l'axe fluvial Bourem-Koulikoro, occasionnellement le long de l'axe ferroviaire Koulikoro-Kayes et le long de l'axe Kati-Bourem;

Le transport du produit se fait par le fleuve avec les chalands de la Compagnie Malienne de Navigation et par la route avec les camions de transporteurs privés.

Accessoirement les pinasses transportent de Bourem à Gao en basses eaux en prélude au transport routier à partir de Gao.

L'approvisionnement de la région de Kayes se fait par chemin de fer.

Le centre principal de distribution est Ségou, où le plus gros client de la SONAREM, à savoir la CMDT, prend livraison du produit. Cependant Mopti, Markala, Koulikoro, Bamako, Kati et Kayes ont été dans le temps ou sont encore des centres de distribution.

Dans ces centres, la SONAREM possède ou loue des magasins, où ses agents en plus des livraisons des commandes, font des ventes au détail.

5. Prix de vente

Le prix de vente du phosphate naturel broyé est actuellement de 50.275 FCFA/tonne, ce qui fait que le sac de 50 kgs coûte 2.515 FCFA.

A titre de comparaison :

a) le super-phosphate triple était vendu en 1984/85 à 140.000 FCFA/tonne par les importateurs d'où un prix de 7.000 FCFA/sac.

b) le phosphate d'ammoniaque 18/46 était vendu à 175.000 FCFA/tonne par les importateurs d'où un prix de 8.750 FCFA/sac.

6. Informations pratiques sur l'utilisation du phosphate naturel du Tilemsi (voir fiche technique jointe en annexe n° 5)

7. Perspectives

Les perspectives à court et moyen termes sont :

1) dans le domaine de la production :

- atteindre 10.000 à 12.000 tonnes par campagne
- fabriquer des produits plus élaborés (N.P., N.P.K.) et plus faciles à épandre (des échantillons d'engrais N.P. sont déjà disponibles pour des tests).

2) dans le domaine commercial :

- utiliser les services des dépositaires-revendeurs
- élargir la clientèle
- construire des magasins dans certains centres (Mopti, Ségou).

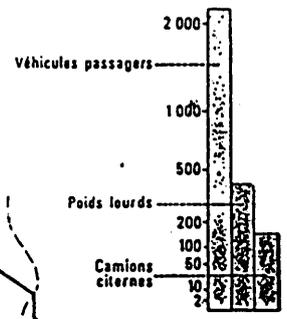
3) au niveau de la structure :

Créer une Société anonyme pour l'exploitation des phosphates du Tilemsi, ce qui permettra de trouver les moyens matériels et financiers nécessaires pour résoudre les problèmes rencontrés dans les différents domaines.

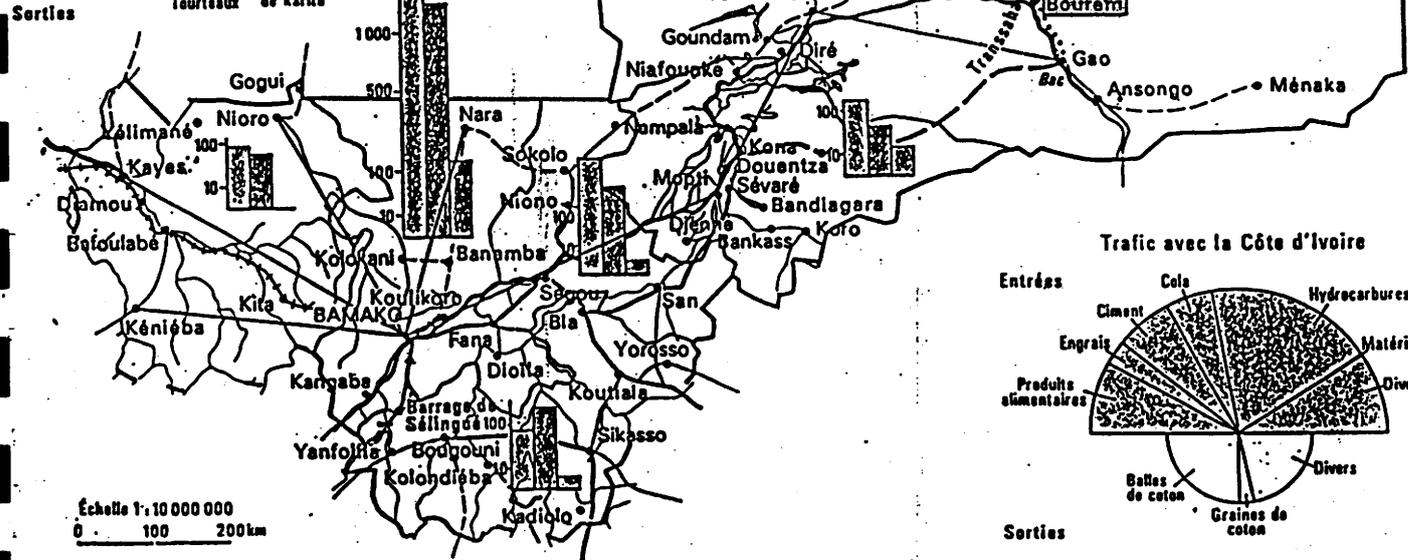
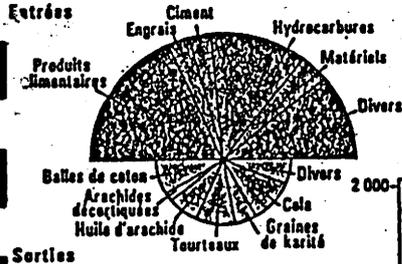
Réseaux de communications

Parc des véhicules de transports par région

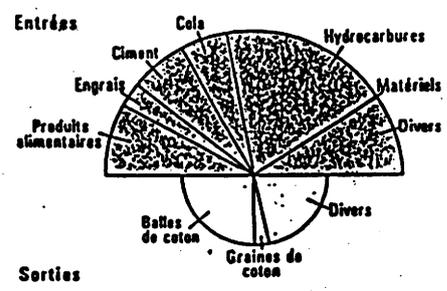
- Voie ferrée
- Route bitumée
- Aménagement routier en cours
- Aménagement routier en projet
- Piste permanente
- Piste saisonnière
- Biefs navigables
- Trafic aérien intérieur
- Ligne électrique de 120 000 volts



Trafic avec Dakar

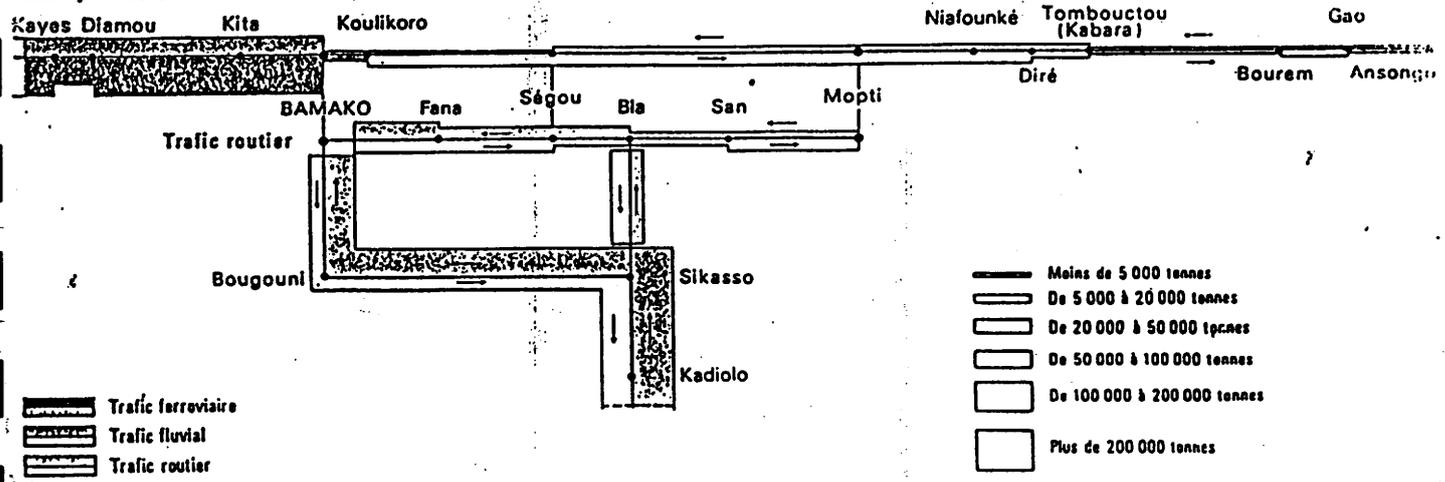


Trafic avec la Côte d'Ivoire



Échelle 1:10 000 000
0 100 200 km

Trafic par voies ferrée et fluviale (1977-1978)



Annexe 3

DONNÉE D'ANALYSE CHIMIQUE DE DIX (10) ÉCHANTILLONS
SÈCHES A 105 - 110°C (Péchiney-1960)

Constituants dosés	N° des échantillons							
	228		229		232		233	
Perte de 1 000°C	6,46	0,15	5,58		5,91			
Mat. org.		0,15		0,16		0,10		0,08
CO ₂		1,35		0,65		2,95		1,10
Eau Combinée		4,96		4,77		2,85		6,12
P ₂ O ₅	31,0		28,71		32,28		25,07	
CaO	43,1		40,8		45,4		35,2	
MgO	2,10		1,36		1,32		0,92	
Al ₂ O ₃	1,9		2,92		2,50		3,24	
Feral		8,75		1,80		7,85		10,2
TiO ₂	0,15		0,2		0,15		0,2	
Na ₂ O (X)	0,14		0,16		0,24		0,16	
SiO ₂	5,84		9,26		3,80		18,50	
Cl	0,09		0,02		0,03		0,03	
SO ₃	0,75		0,50		0,80		0,60	
F	2,85		2,80		2,94		2,25	
F ₂ O ₃	6,85		8,88		5,35		6,96	
TOTAL	101,23		101,19		100,72		100,49	
Oxy. corresp. aF	1,20	1,18		1,24		1,04		
TOTAL dosé	100,03		100,01		99,48		99,54	

(X) Na₂O - On a dosé en une seule opération l'ensemble des alcalins et potasse et exprimé le résultat en Na₂O.

.../...

COMPOSITION GRANULOMETRIQUE

Granulométrie	% en poids	% en P ₂ O ₅	Rendement
+ 5	10,03	25,98	8,67
5 - 3	8,17	31,07	8,45
3 - 2	17,24	34,71	19,91
2 - 1	25,71	34,71	29,74
1 - 0,6	12,52	31,80	13,25
0,6 - 0,2	18,83	26,05	16,32
0,2 - 0,1	4,94	18,18	2,99
0,1 - 0,063	1,17	8,99	0,35
- 0,063	1,35	7,21	0,32
	100,00	30,05 (calculé)	100,00
réconcentré 0,2 - 5	82,51	31,93 (calculé)	87,67
		31,40 (donnée d'analyse)	

FICHE TECHNIQUE SUR L'UTILISATION
DU PHOSPHATE NATUREL DU TILEMSI

(Informations pratiques à l'attention des utilisateurs)

1. TENEURS

P₂O₅ : 30 %
CaO : 43 %

2. FINESSE

Le phosphate est broyé à environ 100 microns, finesse qui facilite son assimilation par les plantes.

3. CONDITIONNEMENT

Sacs de 50 Kgs

Emballage en polypropylène

4. DOMAINES D'UTILISATION

Le phosphate naturel du Tilemsi s'utilise pour toutes les cultures sur sols acides (la plupart des sols au Mali). Il ne remplace cependant pas les engrais non phosphatés. Comme tous les engrais, le phosphate naturel du Tilemsi requiert beaucoup d'eau (pluie, arrosage).

5. DOSES D'APPLICATION

En moyenne :

- 300 Kgs à l'hectare, soit 6 sacs la première année d'épandage en fumure de fond.

- 50 kgs à 100 kgs à l'hectare, soit 1 à 2 sacs, les années suivantes en fumure d'entretien.

Des doses supérieures comme des doses inférieures peuvent être appliquées. L'intérêt des petites doses est l'étalement des dépenses dans le temps et la limitation des risques en cas de pluviométrie insuffisante.

Exemples de mesures pour l'épandage du phosphate
(sur la base d'une dose de 300 Kgs/ha)

a) Avec des sacs de 50 Kgs :

- 6 sacs pour une parcelle de 100 X 100 m ou environ 100 sur 100

- 3 sacs pour une parcelle de 50 X 100 m ou environ 50 pas sur 100

.../...

- 1 sac pour une parcelle de 15 X 100 m ou environ 15 pas 100
- 1/2 sac pour une parcelle de 7 X 100 m ou environ 7 pas sur 100 ou 15 pas sur 50.

- b) Avec des boîtes de lait en poudre (de 454 gs de lait) :
- (le contenu en phosphate d'une boîte = 1 Kg)
- 3 boîtes pour une parcelle de 10 X 10 m ou environ 10 pas sur 10
 - 1 boîte pour 1 parcelle de 3 X 10 m ou environ 3 pas sur 10.

6. PERIODE D'EPANDAGE

- a) en fin d'hivernage : épandage sur jachère suivi de la labour
- b) en début d'hivernage : de préférence épandage avant labour (pour la culture de l'année) ; exceptionnellement un épandage après labour mais avant hersage ou pulvérisation peut être pratiqué.

7. DUREE DE L'EFFET

On dit généralement que les phosphates naturels agissent sur les plantes à partir de la deuxième année et que leur effet s'étale sur 3 à 5 ans. Cependant des témoignages attestent que l'effet du phosphate du Tilemsi est en fait remarqué dès l'année d'épandage.

8. RENDEMENTS

D'après les essais dans la proportion de 3 cas sur 4, le premier facteur chimique limitant les rendements est le phosphore. Généralement une unité de P_2O_5 , c'est à dire 3 Kgs de phosphate naturel (PN) donne une augmentation de rendement de l'ordre de 15 à 20 Kgs de grains de céréales, soit pour 300 Kgs de PN à l'hectare un accroissement de 1 500 à 2 000 Kgs de grains pour toute la durée d'effet de cette dose d'engrais. Pour l'arachide, les chiffres sont de l'ordre de 10 à 20 Kgs de gousses par unité de P_2O_5 , soit 1 000 à 2 000 Kgs de graines par hectare pour toute la durée d'effet des 300 Kgs de phosphate. Pour le coton, les chiffres sont de 10 à 12 Kgs de coton graine par unité de P_2O_5 apportée, soit 1 000 à 1 200 kgs de coton graine pour les 300 Kgs de phosphate naturel.

Des essais réalisés par la SAFGRAD à l'Opération Mils Mopti et suivis sur 3 ans (1979-80-81) ont donné une augmentation moyenne de rendement de 253 Kgs/ha de céréales par an.

Pour l'ensemble des sites répartis à travers le Mali pour la même période l'augmentation moyenne de rendement a été de 156 kgs/ha (soit 34 %) par an.

Pour la période en question le prix des 300 Kgs/ha de phosphate était égal au prix de 212 kgs de céréales (petit mil).

.../...

//) E U X I E M E // A R T I E

RESULTATS
SYNTHESE DE QUELQUES/ DE RECHERCHE
SUR LE PHOSPHATE NATUREL DU TILEMSI

TRAORE A.
Ingénieur Agronome
Cellule d'Agropédologie
SECVO. - SOTUBA.

Dr. SAMAKE F.
Institut Polytechnique Rural
de KATI BOUGOU.

F E V R I E R 1988

TABLE DES MATIERES

	<u>PAGES</u>
INTRODUCTION	1
1. Caractérisation du phosphate de Tilemsi	1
1.1 Caractérisation chimique et minéralogique du phosphate de Tilemsi	1
2. Expérimentation en vue de l'utilisation directe du Tilemsi.....	2
2.1. Etudes en vases de végétation sur l'efficacité agronomique.... du phosphate de Tilemsi	
2.1.1 Types de sols	
2.1.2 pH du sol	3
2.1.3 Finesse de broyage du phosphate	
2.1.4 Conclusion	4
2.2 Etudes en champs	
2.2.1 Etude de la réponse des cultures pluviales au phosphate de Tilemsi	
2.2.1.1 En fumure de fond	7
2.2.1.2 En présence de fumure d'entretien.....	
2.2.2 Etude de la réponse des cultures irriguées au phosphate de Tilemsi (Zone Office du Niger).....	8
2.2.2.1 Réponse du riz au PNT en fumure de fond	
2.2.2.2 Réponse du riz au PNT en fumure annuelle	13
2.2.2.3 Résultats sur canne à sucre du PNT dans le complexe sucrier (SUKALA)	
2.2.3 Conclusion sur les études en champs	14
3. Conclusion sur l'utilisation directe du phosphate de Tilemsi	
4. Essais d'amélioration du phosphate de Tilemsi	
4.1 Conclusion	17
5. Conclusion générale	22
Bibliographie	
ANNEXE : Réponse à quelques remarques d'ordre pratique	

INTRODUCTION

Les sols cultivés au Mali à l'exception des sols inondés présentent dans l'ensemble une carence en phosphore. Les études de C. PIERI (1967-1973), J. PICHOT (1972), M.F. TRAORE (1972), J.F. POULAIN (1976) et P. ROCHE et al. (1980) ont clairement mis en évidence cette carence.

En condition de submersion, donc en milieu réducteur, NGOCHAN BANG et OLIVIER (1971), F.N. PONNAM PERUNA (1972) ont montré que le riz ne répond pas à la fumure phosphatée des phosphates de fer et d'aluminium (normalement insolubles) qui libèrent leur phosphore.

Des recherches parallèles ont été conduites sur la fertilisation phosphatée des sols maliens par des engrais solubles importés et par l'utilisation des phosphates naturels du Tilemsi (sous forme brute ou transformés). L'utilisation des phosphates naturels du Tilemsi en condition non limitante en eau est bien envisageable car les sols sont acides (sols ferrigineux tropicaux) ou présentent un pouvoir de fixation assez élevé (majeur partie des sols de bas-fond et des périmètres irrigués). Dans ces conditions l'utilisation des phosphates naturels peu solubles peut être plus efficace dans la nutrition des plantes que les phosphates solubles rapidement retrogradés dans le sol.

L'objet de la présente note est de faire une synthèse des différents résultats de recherche sur les phosphates de la vallée du Tilemsi.

1. Caractérisation du phosphate du Tilemsi

Les gisements de phosphate du Mali sont connus depuis 1927 (M. CLELLAN et DIAMOND) ; ils sont situés dans la vallée du Tilemsi à l'Est du pays.

Les phosphates concernés par les expérimentations proviennent du gisement de Tamaguelelt. F. THIBOHT et al (1978) montrent que leur teneur en P_2O_5 varie en fonction de la granulométrie des particules qui les composent (tableau n°1). Par une simple séparation granulométrique, l'IFDC (1977) montre qu'il est possible d'obtenir un produit titrant 31 % P_2O_5 . Les réserves exploitables à ciel ouvert sont de l'ordre de 5 millions de tonnes. Ce qui donne à ce gisement une grande importance pour l'agriculture malienne.

1.1. Caractérisation chimique et minéralogique du phosphate du Tilemsi

Les résultats d'analyse obtenus sur le phosphate du Tilemsi sont rassemblés dans les tableaux n° 2, 3 et 4. Le phosphate du Tilemsi est une carbonate apatitée, il renferme 2,8 % de carbonates et le rapport CO_3/PO_4 élevé (0,210) indique une bonne réactivité (TRHONG Binh al 1978).

.../...

La solubilité dans les réactifs classiques (citrate AOAC, acide citrique et acide formique 2 %) est nettement supérieure à celles des autres phosphates naturels d'Afrique de l'Ouest étudiés par TRHONG Binh et al. (1978). Le phosphate du Tilemsi présente une solubilité de 61 % dans l'acide formique 2 % (TRHONG Binh et al. 1978). Ce taux est supérieur à la limite de 55 % retenue par la Commission des Communautés Européennes pour l'emploi direct des phosphates en agriculture.

A côté de ces avantages ci-dessus indiqués, il faut souligner que la composition chimique du minéral montre des proportions assez importantes en éléments accessoires tels que : SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 (tableau n° 2). Ces éléments constituent des obstacles à la transformation industrielle classique du phosphate du Tilemsi.

2. Expérimentations en vue de l'utilisation directe du phosphate du Tilemsi

2.1 Etudes en vases de végétation sur l'efficacité agronomique du phosphate du Tilemsi

L'influence de différents paramètres (type de sol, pH du sol et finesse du phosphate) sur l'efficacité du phosphate du Tilemsi a été étudiée par différents auteurs (TRAORE 1976 ; BROUWERS 1977 ; PICHOT et al 1978 ; TRHONG et al. 1978).

2.1.1 Type de sols

Les résultats obtenus dans cinq sols tropicaux différents (PICHOT et Al 1978 et TRHONG Binh et al 1978) montrent que dans le tableau N° 5, l'efficacité du phosphate du Tilemsi est peu affectée par la présence de phosphate soluble (préconisé par la technique de la valeur). L'efficacité du Phosphate du Tilemsi exprimée en pourcentage de l'action du supertriple (engrais de comparaison) on constate que dans les sols d'Ambohimandroso et de Mahitsy elle passe respectivement de 80 % à 69 % et de 74 % à 64 %, mais de 50 % pour le sol d'Ampangabe.

Dans les deux sols peu acides, on observe des comportements différents. Dans celui des Richard Toll, l'efficacité du phosphate du Tilemsi en présence de phosphate soluble passe de 31 % à 16 % de celle du supertriple. Dans celui de Tarna par contre, la présence de phosphate soluble permet à l'efficacité du phosphate naturel de passer de 2 à 38 % de celle du supertriple. En observant les valeurs du phosphate isotopiquement diluable (valeur L), on remarque que l'incorporation de phosphate de Tilemsi au sol provoque un accroissement.

- 76 ppm de P. à la 1ère coupe et 104 ppm de P. à la 3e coupe dans le sol le plus acide : Ambohimandroso.

- de 33 et 74 ppm respectivement dans celui de Mahitsy

- de 22 et 71 ppm dans le sol d'Ampangabé.

.../...

Dans ces trois sols, le phosphate de Tilemsi se solubilise progressivement, mais après un mois d'incorporation au sol (première coupe) on observe une augmentation sensible du phosphate isotopiquement diluable. Dans les deux autres sols (Richard Toll et Tarna) l'action du phosphate du Tilemsi est respectivement de 4 ppm et 1,4 ppm à la troisième coupe respectivement de 24 et 27 ppm.

Dans les essais réalisés en vases sur les sols du plateau mandingue et de Sotuba peu acides (TOUR, 1973 ; BROUWERS, 1977), la solubilisation du phosphate du Tilemsi s'est révélée progressive.

2.1.2 pH du sol

L'effet du pH du sol sur la solubilisation du phosphate de Tilemsi a été étudié par TRAORE A. (1976). L'expérimentation a été conduite sur un sol ferrallitique désaturé dont on a varié le pH par des apports de chaux (tableau n° 6). Les résultats mettent en évidence un comportement nettement différent entre le supertriple et le phosphate naturel. Le supertriple a une action régulière sur l'alimentation de l'Agrostis communis (plante test). Elle est plus importante à pH 5,5, mais dans tous les cas la dose de 200ppm de P. provoque un effet supérieur à celle de 100ppm de P. Au vue des résultats (tableau n° 6), on peut considérer que tout le phosphore apporté sous forme de supertriple participe au pool des ions isotopiquement diluables. Le phosphate du Tilemsi voit son efficacité affectée par le pH au sol. A pH 4,6, la participation de la dose 200 ppm de phosphate naturel du pool des ions autodifusibles est plus faible que celle des 200 ppm de phosphate soluble à la première coupe mais s'en rapproche à la troisième coupe A pH 5,5. Ce n'est qu'à la troisième coupe que la deuxième dose de phosphate de Tilemsi se distingue de la première. A pH 6,5, la participation du phosphate naturel est très faible. On observe pas de différence significative entre les deux doses. Til.

Ces résultats confirment ceux concernant l'influence du type de sol et montrent bien que l'efficacité du phosphate de Tilemsi est régie par le pH du sol.

2.1.3 Finesse de broyage du phosphate

La finesse d'un phosphate naturel est généralement considérée comme un facteur déterminant de son efficacité. En effet cette opération permet d'augmenter la surface (spécifique) de réaction entre les particules de phosphate et ceux du sol. En ce qui concerne le phosphate du Tilemsi, le tableau n° 7 montre que la différence d'efficacité enregistrée aux finesses 0,1 mm et 0,5 mm reste faible. Ces résultats permettent de penser que le phosphate du Tilemsi contrairement aux principaux phosphates d'Afrique de l'Ouest, peut être utilisé en agriculture après un broyage grossier ne faisant pas appel à des procédés onéreux.

2.1.4 Conclusion

Cet ensemble de résultats concordant obtenus en laboratoire et en vases de végétation montrent :

- que les caractéristiques chimiques et minéralogiques du phosphate de Tilemsi le classent parmi les phosphates tendres et ayant une réactivité élevée.
- une nette supériorité du phosphate de Tilemsi sur les autres phosphates naturels d'Afrique de l'Ouest.
- une solubilisation très rapide dans les sols acides où le Tilemsi est presque aussi efficace que le supertriple ; une solubilisation plus progressive dans les sols peu acides.
- une solubilisation diminuée dans les sols argileux peu acides par la présence de phosphates solubles qui enrichissent la solution du sol.
- un effet agronomique plus marqué du phosphate naturel par rapport aux phosphates solubles dans les sols acides à fort pouvoir de fixation.
- enfin, une faible influence de la finesse de mouture sur l'efficacité du phosphate du Tilemsi.

2.2 Etudes en champs

2.2.1 Etude de la réponse des cultures pluviales au phosphate de Tilemsi

De 1969 à 1977, une série d'essais a été réalisée sur la station de Sotuba et sur les points d'appui de la recherche de Kita, du Seno (Koporo Kéniépé) et de Sikasso.

De 1982 à 1984, il a été lancé dans le cadre du programme IFDC (International fertilizer Development center) un vaste réseau d'essais en station et en milieu paysan sur le phosphate de Tilemsi. Les essais réalisés portent sur :

- L'étude de la réponse des cultures au phosphate de Tilemsi apporté en fumure de fond.
- L'étude de la réponse au phosphate naturel en présence ou non de supertriple en fumure d'entretien annuel.
- L'étude des modalités de fractionnement de l'apport de phosphate naturel.

Les caractéristiques pédologiques, climatiques et les rotations culturales de quelques localités représentatives figurant dans le tableau n° 8.

.../...

TABLEAU N° 1 : Teneur du phosphate du Tilemsi en fonction de la granulométrie.

Diamètre des particules	Pourcentage en poids	Teneur en P_2O_5 100 du minéral
Inférieur à 0,5 mm	5	11,7
0,2 à 0,5	15	25,5
0,5 à 1,0	17	30,6
1,0 à 3,0	48	33,1
Supérieur à 3 mm	15	31,7

(d'après THIBOUT et al 1978)

TABLEAU N° 2 : Résultats de l'analyse chimique du phosphate du Tilemsi

(d'après Me CIRLLAN et DIAMONO)

%		%		%	
CaO	45,0	K ₂ O	0,11	MnO	1,4
P ₂ O ₃	31,3	AL ₂ O ₃	1,3	SO ₂	0,16
F	2,9	Fe ₂ O ₃	5,3	TiO ₂	0,3
CO ₂	2,3	SiO ₂	3,5	BaO	0,1
Na ₂ O	0,1	S.Total	0,36	Cl	0,055
MgO	0,31	S.Sulfate	0,36	S.Total	0,87

Solubilité de P dans	% du P total
Citrate AOAC	13,5
Acide citrique	38,5
Acide formique 2 %	61,2

TABLEAU N° 3 : Composition minéralogique du phosphate du Tilemsi
(d'après Me CLELLAN et DIAMOND)

	Compostion	Pourcentage
Apatite (variété fran- colite)		80,9
Gosthite	FeO (OH) au Fe ₂ O ₃ H ₂ O	0,6
Ka- goethite	(Fe _{0,75} Mn _{0,25}) O (OH)	6,8
Illite	(K H ₃ O) 2Al ₄ (Si ₆ Al ₂) O ₂₀ (OH)	3,2
Wartz	SiO ₂	2,0
Gypse	CaSO ₄ 2H ₂ O	1,9
Anatasse	Ti O ₂	0,3
Halite	Na Cl	0,1
Carbone organique	C	0,2
		96,2

TABLEAU N° 4 : Caractéristiques de l'Apatite du phosphate du Tilemsi
(d'après F. THIBOUT et al 1978)

Paramètres cristallographi- ques de la maille hexogonale		Rapport CO ₃ /FO ₄	Teneur en P ₂ O ₅	Formule empirique selon Mc CLELLAN et LEHR(1969)
a 9,331	c 6,888	0,210		Ca _{9,83} Na _{0,27} Mg _{0,10} (FO ₄) _{4,96} (CO ₃) _{1,04} F _{2,41}

TABLEAU N° 5 : Efficacité du phosphate du Tilemsi dans cinq sols tropicaux sur
l'absorption de P par une plante test et sur le phosphore isoto-
piquement diluable du sol (valeur L)
(d'après TRUONG et al 1978, PICHOT et al 1978)

		Richard Toll 5,9		Tarna 6,5		Ampengabe 5,1		Uahitsy 55,5		Anbohimen- doso		
		1ère coupe	Sommes des coupes	1ère coupe	Sommes des coupes	1ère coupe	Sommes des coupes	1ère coupe	Somme des coupes	1ère coupe	Somme des coupes	
Exportation de P	sans P soluble	Témoin.....	141	932	78	146	37	406	06	419	31	47
		Tilemsi....	263	2700	142	259	408	2939	911	4262	603	339
		T.S.P.....	1954	6549	2480	4975	1434	5446	2022	5583	1020	403
Avec P soluble		Témoin.....	1534	4048	2213	4004	1035	2890	1223	3275	254	193
		Tilemsi....	1484	4220	2173	5882	1210	5467	1678	5740	949	413
		T.S.P.....	2781	8364	2940	8881	2477	7235	2400	7148	1214	
valeur L		Témoin.....	34	38	5	6	32	23		27	28	
		Tilemsi....	38	62	6,4	33	54	94		101	104	
		T.S.P.....	130	128	84,8	88	126		126	141		

2.2.1.1 En fumure de fond

Les résultats obtenus à Sotuba, Kita et Sikasso sont reportés dans les tableaux n° 9 et 10. Dans tous les cas, les apports de phosphates naturels sont effectués sur la jachère l'année qui précède la culture en tête de rotation. Les éléments complémentaires OSK sont appliqués sous forme minérale sur les différentes cultures de la rotation.

Mais	130 N	46 S	60 K ₂ O	
Sorgho	90 N	46 S	60 K ₂ O	6
Arachide	10 N	12 S	40 K ₂ O	
Mil	90 N	52 S	60 K ₂ O	
Riz pluvial	90 N	12 S	30 K ₂ O	

La réponse des cultures dans les essais de Sotuba, Kita et Sikasso permet de conclure :

- à une très bonne efficacité du phosphate de Tilemsi dès l'année qui suit son application.

- à l'excellente efficacité du phosphate de Tilemsi sur l'ensemble de la rotation. Les accroissements de rendements par unité fertilisante sont très élevés sur céréales à Sotuba et Kita, ils sont encore plus importants sur céréales et cotonnier à Sikasso. L'arachide répond de façon plus modeste aux apports de phosphate.

- à l'insuffisance de la dose de fond 80 kgs/ha de P₂O₅ (320 Kgs de phosphate naturel) dans le cadre d'une rotation quadriennale. A l'absence d'une fumure d'entretien, un apport d'au moins 160 kgs/ha de P₂O₅ (640 kgs de phosphate) sous forme de phosphate de Tilemsi s'avère nécessaire. En effet, on observe sur le maïs en cinquième année une diminution importante des effets résiduels pour les apports initiaux de 70 - 80 et 140 - 160 kgs de P₂O₅/ha (correspondant à 280 - 320 et 560 - 640 kgs de phosphate) de phosphate de Tilemsi tandis que la dose 240 kgs P₂O₅/ha (960 kgs de phosphate) maintient son action.

2.2.1.2 En présence de fumure d'entretien

Le tableau n° 11 rassemble les résultats d'un essai réalisé à Sotuba pendant six années. Les phosphates naturels sont apportés sur jachère l'année précédente la première culture, et une fumure minérale complémentaire adaptée est épandue sur chacune des cultures de la rotation.

Les résultats montrent qu'un apport de fond de 80 Kgs P₂O₅/ha complété par une dose d'entretien de 45 Kgs P₂O₅/ha sous forme de supertriple donne d'excellents résultats. Sur le total des récoltes de céréales de la rotation,

.../...

cette fumure permet d'avoir la meilleure productivité par unité fertilisante. Les cultures d'arachide ont surtout répondu aux apports de supertriple en présence de fumure de fond ; les accroissements de rendement restant très modestes THIBOUT et al. (1978) indiquent qu'un apport de fond de 80 Kgs P_2O_5 /ha (320 kgs de phosphate/ha) suivi d'apports annuels de 20 à 40 kgs P_2O_5 /ha (80 à 160 kgs de phosphate/ha) également sous forme de phosphate naturel peut être proposé à la vulgarisation.

2.2.2 Etude de la réponse des cultures irriguées au phosphate de Tilemsi (zone Office du Niger)

Quelques caractéristiques pédologiques, climatiques des localités concernées par les essais figurent dans le tableau n° 12.

2.2.2.1 Réponse du riz au PNT en fumure de fond

A Kogoni les résultats des essais d'application de fond du phosphate de Tilemsi montrent qu'aux doses élevées de phosphate naturel correspondent les meilleurs rendements (tableau n° 13 et fig. 1). En matière de phosphate de fond il semblerait que les apports devraient être répétés tous les deux ou trois ans. En effet si on considère les rendements moyens obtenus (tableau n° 13) une baisse sensible de ceux-ci est observée en troisième année ; ce qui indique une nutrition phosphatée insuffisante.

Il faut rappeler qu'en raison des conditions particulières de submersion, l'application de fond constitue le moyen le plus sûr de maintenir un niveau de production élevé. Il semble en effet que ce soit l'acidité naturelle du sol (baissée par la submersion) qui solubilise le phosphate naturel pendant la saison sèche.

Le phosphatage de fond à partir du phosphate de Tilemsi est une alternative valable pour la fertilisation phosphatée et l'accroissement de la production du riz paddy. Il faut cependant noter que dans la zone de l'Office du Niger, il existe également des sols alcalins dans lesquels la réaction du phosphate naturel peut être lente sans traitement préalable.

INFLUENCE DU pH DU SOL SUR L'EFFICACITE DU PHOSPHATE DE TILEMSI DANS LE SOL
FERRALLITHIQUE D'AMBOHIMANDROSO

TABLEAU 6

		Exportation de P par l'Agrotyis						Valeur L					
		pH 4,6		pH 5,5		pH 6,5		pH 4,6		pH 5,5		pH 6,5	
		1ère coupe	∑ 3 coupes	1ère coupe	∑ 3 coupes	1ère coupe	∑ 3 coupes	1ère coupe	3ème coupe	1ère coupe	3ème coupe	1ère coupe	3ème coupe
Témoïn		205	1399	551	1638	370	173	27	40	30	33	34	32
Tilemsi	100 ppm 200 ppm	143 1474	411 4111	1047 1181	310* 3000	516 478	77 876	10 154	136 214	65 68	106 141	28 29	40 45
T.S.P.	100 ppm 200 ppm	1247 1635	3529 5084	1716 2320	4330 5977	970 1140	1661 3077	118 205	144 244	114 210	130 221	119 200	116 240

TRAORE A. 1976

INFLUENCE DE LA FINESSE DES PHOSPHATES SUR LEUR EFFICACITE DANS DEUX TYPES
DE SOLS TROPICAUX

	Exportation de P par l'Agrotyis								Valeur L							
	Mahitay				Tarna				Mahitay				Tarna			
	1ère coupe		Somme des coupes		1ère coupe		Somme des coupes		1ère coupe		3ème coupe		1ère coupe		3ème coupe	
	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1
ARLI	595	676	1657	1743	1607	2449	2355	3003	14	21	37	49	4	11	22	27
KODJARI	538	752	1457	1749	1654	1140	2515	2906	14	19	38	46	5	9	24	28
TAHOUA	596	669	1642	1683	1702	1684	2765	2780	17	20	46	49	6	9	26	30
TAIBA	647	636	1595	1828	1741	1143	2581	2960	15	19	44	45	5	9	25	29
TILEMSI	772	782	1929	2223	1956	1944	2974	3331	29	35	62	68	12	12	27	34
TOGO	613	593	1539	1831	1966	1881	2821	3011	17	24	43	46	9	6	23	35
CV	9,8		5,0		6,0		4,5		12,7		8,2		18,8		10,9	
F calculés	9,1*		39,3*		7,1*		18,7*		50,2*		45,5*		16,5		5,3*	
phosphates	12,3*		65,4*		22,5*		58,5*		66,6*		28,9*		33,6		65,5*	
finesse	4,6*		4,3*		10,3*		6,8*		1,0*		2,5*		13,7		2,8*	
interaction																

(TRUONG Binh et PICHOT J., résultats inédits)

CARACTÉRISTIQUES DES POINTS D'EXPERIMENTATION SUR LESQUELS ONT ÉTÉ RÉALISÉS
LES ESSAIS CONCERNANT LE PHOSPHATE DE TILEMSI

	Caractéristiques des horizons de surface						Pluviométrie moyenne annuelle	Rotation culturelle type		
	Granulométrie				pH				Phosphore	
	A %	L %	SI %	Sg %	Ca	Kcl			Total	f
SOTUBA	6,9	39,6	44,9	8,6	6,4	5,6	83	1100 mm	maïs-arachide	
KITA	8,5	22,8	31,1	37,4	6,5	4,6	75	1100 mm	sorgho-arachide	
SENO	4,2	4,5	15,1	36,0	5,9	4,4	41	550 à 600 mm	maïs-arachide	
SIKASSO	9,2	22,9	53,6	14,3	6,1	4,9	104	1300 mm	maïs-coton sorgho-arachide	

(d'après JENNY 1973, 1974)

REPONSE DES CULTURES AUX PHOSPHATES NATURELS APPORTES EN FUMURE DE FOND
SOTUBA, KITA

Nature de l'engrais	Apport de P ₂ O ₅ kg/ha	Maïs Tiementié	Arachide 28 206	Sorgho Soninkoura	Arachide 28 206	Maïs Jaune de Fô ou Tiementié	Somme des récoltes		Accroissements de rendements en kg/kg P ₂ O ₅	
							Céréales	Arachide	Céréales	Arachide
S.K.	0	1377	2031	1433	1831	756	3571	3912	-	-
TILEMSI + NSK	70	3456	2521	1863	1942	1086	6405	4463	40,5	7,9
TILEMSI + NSK	140	3631	2559	2378	1961	1675	7934	4421	31,5	3,6
S.K.	0	2200	2552	1424	1391	274	3998	3873	-	-
TILEMSI + NSK	80	4804	3192	1894	1875	641	7339	4591	43,0	9,0
TILEMSI + NSK	160	5274	3187	2555	1590	1532	9361	4777	34,1	5,6
TILEMSI + NSK	240	5473	3118	2743	1619	2437	10653	4737	28,1	3,6

(THIBOUT et al. 1978-

10

REPONSE DES CULTURES AUX PHOSPHATES NATURELS APPORTES EN FUMURE DE FOND
SIKASSO

Nature des engrais	Apport de P ₂ OP ₂ O ₅ kg/ha	Maïs variété Tiementié	Cotonnier variété BJA	Riz pluvial variété Dourado	Arachide variété 28206	Maïs variété Tiementié	Somme des céréales	Accroissement de rendements en kg/kg P ₂ O ₅		
								Céréales	Cotonnier	Arachide
K.	0	650	1419	1065	1492	801	2556	-	-	-
M. + N.S.K.	80	2200	2422	1278	1444	931	4409	23,2	12,5	-
MSI + N.S.K.	160	3170	2820	1866	1643	1618	6654	25,6	8,8	1
MSI + N.S.K.	240	3267	3078	2094	1530	2344	7709	21,5	6,9	1

(THIBOUT et al 1978)

11

REPONSE DES CULTURES AUX PHOSPHATES NATURELS AVEC ET SANS FUMURE D'ENTRETIEN
SOTUBA

Fumure de fond Phosphates naturels kg/ha de	Fumure de d'entretien Supertriple kg/ha de	1971	1972	1973	1974	1975	1976	Total des récoltes		Accroissements de rendements kg de céréales par kg de P ₂ O ₅ sous forme de	
		Maïs Tiementié 130 N-46 S	Arachide 28-206 10 N-12 S 40 N-20	Sorgho Sonin Kourou 60 N-20	Arachide 28-206 10 N-12 S 40 N-20	Maïs Jaune de Fô 130 N-46 S 60 N-20	Arachide 28-206 10 N-12 S 40 N-20	de céréales kg/ha	d'arachides kg/ha	TILEMSI	NSK (225kg/ha)
0	0	1757	2348	1809	1923	928	1566	4619	6009	-	-
0	45	3912	2491	3000	1825	3582	1578	10394	6024	-	25,7
80 TILEMSI	0	514	2401	2312	2063	1443	1512	7209	5909	33,4	24,8
80 TILEMSI	45	4009	2547	3222	2405	5957	1853	12378	6054	24,8	22,6
160 TILEMSI	0	4143	2482	2642	2142	2518	1004	9003	6228	27,4	14,0
160 TILEMSI	45	4173	2452	3177	2341	5279	1938	12629	6726	14,0	16,1
240 TILEMSI	0	3504	2333	3194	2186	3241	1645	9339	6164	22,2	8,7
240 TILEMSI	45	3611	2391	3053	2379	5311	1820	12475	6500	8,7	11,3
Témoin sans fumure		1201	2038	1665	1700	1127	1024	3626	4722	-	-

(THIBOUT et al 1978)

TABLEAU 13 : Kogoni : réponse du riz à des Applications de Fond de Phosphates.

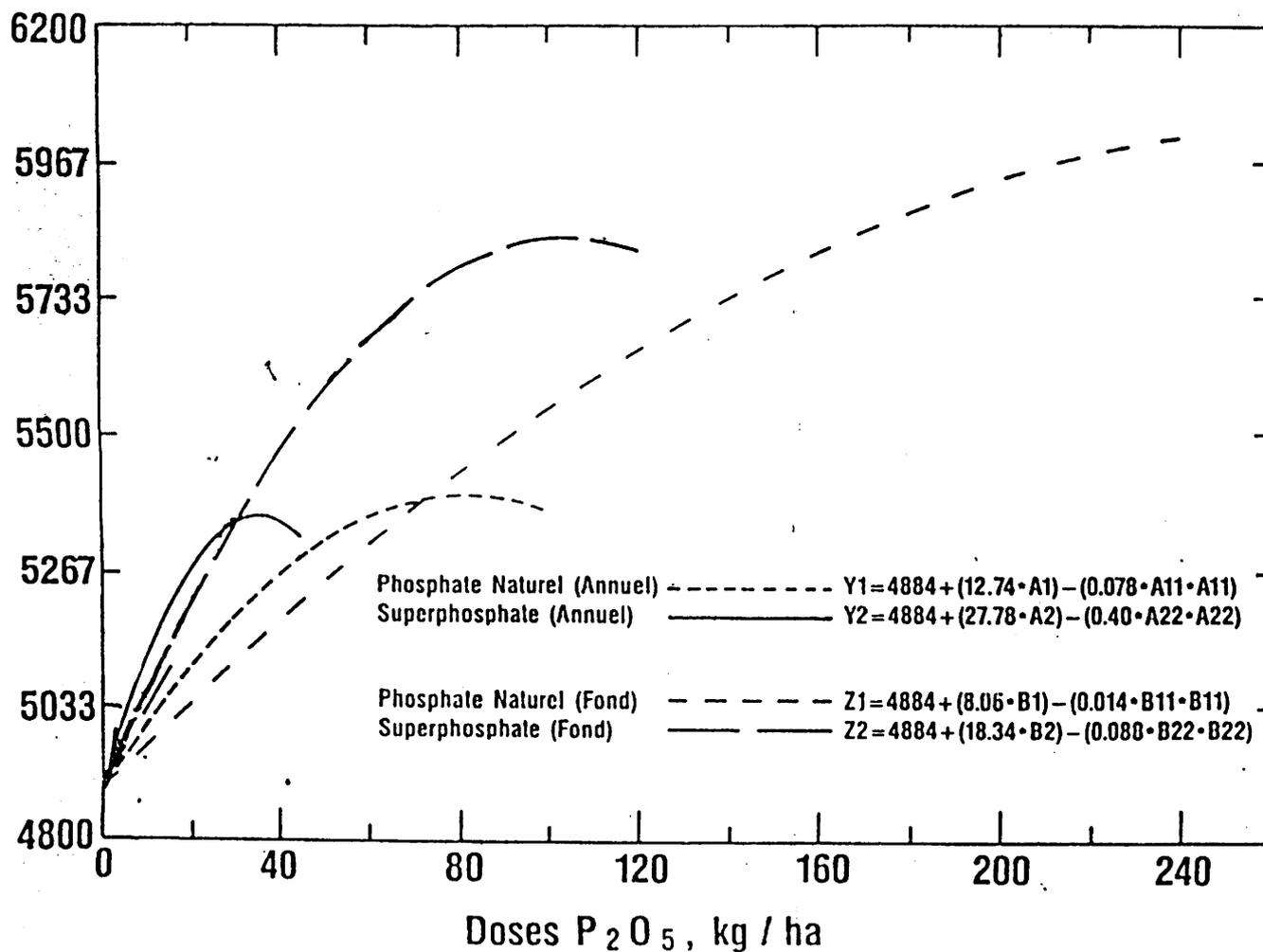
Source	Doses d'Application (kgP ₂ O ₅ /ha)	Rendements		
		1982	1983	1984
Témoin	0	5,569.6	4,906.7	4,869.3
Phosphate naturel	60	5,513.8	6,235.3	4,958.6
Phosphate naturel	120	5,877.5	6,118.0	5,830.0
Phosphate naturel	180	6,123.9	6,288.1	6,093.3
Phosphate naturel	240	6,123.9	6,470.0	6,325.2
TSP	30	5,461.1	4,798.2	5,522.8
TSP	60	6,123.9	5,590.1	5,366.1
TSP	90	6,651.8	6,587.3	6,061.9
TSP	120	6,194.3	6,000.7	5,754.8

(d'après I.E.R./ IFDC. 1985).

FIG. 1

1984 KOGONI

REPONSE DU RIZ A DES APPLICATIONS DE PHOSPHATES



(d'après I.E.R / IFDC. 1985).

2.2.2.2 Réponse du riz au PNT en fumure annuelle

L'analyse du tableau n° 13 et des courbes de la fig. 1 montre qu'après trois années d'expérience, les rendements maximum ont été supérieurs pour les applications de fond par rapport aux apports annuels. Si dans le cas des cultures pluviales des recommandations précises ont pu être formulées pour les apports annuels de phosphates naturels, en ce qui concerne le riz irrigué les essais conduits par l'IFDC ne permettent pas de tirer des conclusions définitives.

2.2.2.3 Résultats sur canne à sucre du PNT dans le complexe sucrier (SUKALA)

Dans les périmètres du complexe sucrier du KALA Supérieur, le phosphate naturel de Tilemsi a été testé en fumure de fond sur la canne à sucre (Dougabougou, Séribala). Les résultats montrent qu'en cas de réponse au phosphore, il suffit d'appliquer soit 50 unités/ha/an de P_2O_5 soluble, soit 500 kgs/ha/3 ans de PNT en fond dans les sillons de plantation sans apport de phosphore soluble annuel pour avoir des rendements statistiquement équivalents aux autres fumures actuellement pratiquées contenant plus de phosphore.

TABLEAU N° 14 : Rendement canne (T/ha/an) en fonction des doses croissantes de PNT apportées en fond

PNT	P. Soluble	tonnes cannes/ha/an vierge + R_1 + R_2^*	
		DOUGABOUGOU	SERIBALA
0	0	68,7	59,5
500	0	83,8	67,7
1000	0	78,5	64,8

R_1 = 1ère réousse

R_2 = 2e réousse

Etant donné l'importance de la production en vierge, un apport de phosphore soluble à la plantation (1ère année) pourrait se justifier.

2.2.3 Conclusion sur les études en champs

L'ensemble des expérimentations conduites en conditions pluviales et irriguées permet de tirer les conclusions suivantes :

- le phosphate de Tilemsi apporté sur jachère l'année précédent la mise en culture est très efficace dès la première année de culture.
- les accroissements de rendements procurés par le phosphate de Tilemsi sont très importants même quand on apporte une fumure annuelle d'entretien sous forme de phosphate soluble.
- un apport initial de 80 kgs P_2O_5 /ha est suffisant si on prend soin de réaliser des applications annuelles d'entretien pouvant être faites sous forme de phosphate de Tilemsi.
- en riziculture irriguée, les meilleurs rendements sont obtenus pour les fortes doses de phosphate naturel en application de fond.
- sur la canne à sucre à Dougabougou et Séribala (SUKALA) la dose de 500 kgs/ha/3 ans de PNT (Phosphate Naturel de Tilemsi) procure les meilleurs rendements de canne.

3. Conclusion sur l'utilisation directe du phosphate de Tilemsi

Le phosphate du Tilemsi au vue des caractéristiques chimiques et minéralogiques fait partie des phosphates dits tendres susceptibles d'un emploi direct en agriculture. Les expérimentations agronomiques en vases de végétation et au champ confirment ce classement et permettent de préciser les doses et modalités d'apport. Il semble qu'un apport de 80 kgs P_2O_5 /ha sur jachère en tête de rotation suivi d'apports annuels de 20 à 40 kgs de P_2O_5 /ha en fonction des cultures, peut être proposé à la vulgarisation en culture pluviale. En raison des conditions particulières de sol et d'irrigation le phosphatage de fond semble être le mode d'apport le plus efficace sur le riz et la canne à sucre.

4. Essai d'amélioration du phosphate de Tilemsi

Malgré l'importance et la richesse des travaux de recherche, le phosphate de Tilemsi n'a pu atteindre les espoirs de vulgarisation escomptés. Certains facteurs sont à l'origine de ce phénomène dont les principaux sont :

- l'état pulvérulent du phosphate (80 à 100mm de diamètre) qui rend l'épandage difficile.

- une insuffisance d'effet immédiat comparativement aux engrais phosphatés habituellement utilisés par le paysan.

Pour des solutions à ces contraintes il a été demandé aux programmes IER/IFDC et IER/FED, respectivement en 1982 et 1984 d'étudier les possibilités d'amélioration du phosphate de Tilemsi. Ces études visent d'une part à accroître la solubilité du phosphore contenu dans le phosphate de Tilemsi au moyen d'attaque acide partielle ; d'autre part à faciliter l'épandage du minerai en le granulant ou en le compactant avec de la mélasse de sucrerie ou du plâtre de Tessalit servant office de liant. En outre, dans le cadre de la granulation on a pensé à un mélange d'urée et de KCl permettant aussi d'obtenir un engrais ternaire NPK.

Au terme de quatre années d'expérimentations, l'analyse des résultats a permis de retenir les observations suivantes :

- En rotation coton-céréales, parmi les différentes sources de phosphore étudiées, les rendements moyens en coton-graine obtenus avec le phosphate de Tilemsi étaient en moyenne supérieurs à ceux obtenus avec le supertriple ou le phosphate partiellement acidulé 30 % (tableau n° 15). Pour le maïs, les rendements moyens obtenus avec les applications de phosphates naturels ne sont pas significativement différents de ceux obtenus avec le supertriple (tableau n° 16).

Notons cependant que les applications annuelles de phosphate de Tilemsi expérimentées en condition sèche ont donné des résultats inférieurs à ceux obtenus avec le phosphate soluble.

.../...

TABLERAU N° 15 : Etude des modalités d'apport du phosphate du Tilemsi

Fumure de fond Phosphates naturels kg/ha de P ₂ O ₅	Fumure d'entretien phosphate de Tilemsi kg/ha de P ₂ O ₅	PAR de KITA						PAR du SENO		
		1970 Maïs Tiémentié kg/ha	1971 Arachide 28-206 kg/ha	1972 Sorgho Sonin- koura kg/ha	1973 Arachide 28-206 kg/ha	Total céréales kg/ha	Total arachide kg/ha	1970 Maïs NKK kg/ha	1971 Arachide 28-206 kg/ha	1972 Maïs NKK kg/ha
0	0	300	1408	499	1300	799	2708	527	1161	534
80 TILÉMSI	0	2450	2242	1363	1507	3813	3749	880	1320	742
160 TILÉMSI	0	2400	2469	2033	1598	4433	4067	1069	1427	958
80 TILÉMSI	20 par culture	1950	2304	2081	1700	4031	4004	986	1614	1265
0	40 par culture	1990	2473	2108	1734	4088	4207	935	1448	1237

En riziculture inondée sur sol brun vertique, des apports de phosphates solubles semblent être indispensables la première année pour l'obtention d'un rendement optimum (tableau n° 17). A partir de la deuxième année, le statut phosphaté du sol peut être entretenu par des apports de phosphate naturel.

Dans les essais ci-dessus l'attaque partielle a été faite par de l'acide sulfurique. Les résultats d'essais récents en vases (SAMAKE 1987) montrent que les produits issus d'attaque sulfurique partielle sont moins efficaces que ceux issus d'attaque phosphorique partielle. La libération du phosphore dans le premier cas serait ralentie par la formation de sulfates de calcium. En effet, des études de diffraction de rayons X ont révélé la présence d'anhydrites dans le minerai après des attaques sulfuriques (DELMAS I. 1986). La comparaison des deux types d'attaque dans deux sols très différents (sol ferrugineux tropical de Sotuba et sol vertique de Kogoni) a montré que l'attaque phosphorique permet d'avoir des produits granulés avant une efficacité agronomique au moins équivalente à celle du phosphate brut pulvérulent (tableau n° 18).

Les résultats obtenus par IER/FED en vases de végétation dans le cadre de l'amélioration des conditions d'épandage du phosphate de Tilemsi montrent que la perte d'efficacité des granulés par rapport à la forme pulvérulente varie de 1 % à 98 % selon les cultures. La granulation à l'eau engendre les plus grandes pertes (57 % à 98 %), tandis que la granulation du mélange, phosphate + sulfate de potassium, enregistre des pertes très variables : 1 à 14 % sur maïs, 2 à 45 % sur sorgho et 61 à 74 % sur cotonnier par rapport à la forme pulvérulente. Les mêmes engrais testés en stations de recherches n'ont également pas donné de résultats concluants (tableau n° 19). Il faut cependant noter qu'en riziculture inondée, le mélange phosphaté naturel + mélasse granulé a permis de dégager un revenu supplémentaire de près de 20 000 FCFA par rapport à l'utilisation du complexe coton.

4.1 Conclusion

En conclusion, dans les sols acides et en conditions pluviométriques favorables, les apports de phosphate naturel permettent en moyenne des rendements équivalents à ceux obtenus avec les phosphates solubles ou partiellement solubles. Il reste cependant vrai qu'à Kogoni (riziculture inondée) les apports de phosphates solubles sont nécessaires en première année dans la mesure où la réaction du phosphate naturel est lente en égard au pH assez élevé du sol.

Dans les conditions de pluviométrie moins favorables (généralement inférieure à 800 mm/an) seuls des apports de phosphates solubles permettent des rendements maximum.

Enfin dans tous les cas, la granulation du phosphate naturel brut ne peut être envisagée dans la mesure où elle contribue à diminuer considérablement l'efficacité agronomique du minerai.

.../...

TABEAU N° 16 : Réponse du maïs aux applications annuelles de phosphate SOTUBA

Application annuelle		Rendement Grain			Total	Effet 1982 kg/P ₂ O ₅	acc. Rdt/kgP ₂ O ₅ sur 3 ans
Sources	Doses (kg/P ₂ O ₅)	1982	1983 (kg/ha)	1984			
Témoin	0	1,314.7	914.4	1,922.9	4 152	-	-
Phosphate naturel	30	1,559.3	1,981.5	2,915.7	6 456	8,15	25,60
Phosphate naturel	60	2,045.5	1,250.0	3,454.3	6 749,8	18,18	14,43
Phosphate naturel	90	1,957.1	1,050.9	3,553.7	6 561.7	7,13	8,92
Phosphate naturel	120	1,830.8	1,375.0	3,744.4	6 950,2	4,30	7,77
TSP	15	1,464.6	1,365.7	3,230.6	6 060,9	9,99	42,42
TSP	30	2,121.2	797.2	3,522.2	6 440,6	26,88	25,42
TSP	60	1,805.6	1,723.1	3,584.7	7 113,4	8,18	16,45
PNPA 15NG	15	1,092.2	1,263.9	2,823.1	5 179,2	-	22,82
PNPA 15NG	30	1,925.5	685.2	3,371.8	5,982.5	20,36	20,33
PNPA 15NG	45	2,159.1	1,314.8	3,343.3	6 908,2	18,76	20,40
PNPA 15NG	60	1,578.3	1,490.7	3,050.0	6 119,0	4,39	10,92
PNPA 30NG	15	1,565.7	1,226.9	2,651.9	5 444,5	16,73	28,72
PNPA 30NG	30	2,108.6	740.7	3,318.5	6 167,8	26,46	22,39
PNPA 30NG	45	2,039.1	1,231.5	3,679.6	6 950,2	16,09	20,72
PNPA 30NG	60	1,748.7	1,865.7	3,202.8	6 817,2	7,23	14,80

(d'après IFDC 1985)

TABLEAU N° 17 : Réponse du riz à des applications de fond de phosphates (KOCONI)

Source	Doses d'applica. (kg P ₂ O ₅ /ha)	Rendements			Total	Effet 1982 kg/P ₂ O ₅	acc. Rdt/kg P ₂ O ₅ sur 3 ans
		1982	1983 (kg/ha)	1984			
Témoin	0	5,569.6	4,906.7	4,869.3	15 345,6	-	-
Phosphate Naturel	60	5,513.8	6,235.5	4,958.6	707,7	22,70	22,70
Phosphate Naturel	120	5,877.5	6,118.0	5,830.0	17 825,5	8,56	20,70
Phosphate Naturel	180	6,123.9	6,288.1	6,093.3	18 505,3	3,07	17,55
Phosphate Naturel	240	6,123.9	6,470.0	6,325.2	18 919,1	2,30	14,88
TSP	30	5,461.1	4,798.2	5,522.8	15 782,1	-	14,55
TSP	60	6,123.9	5,590.1	5,366.1	17 080,1	9,23	28,90
TSP	90	6,651.8	6,587.3	6,061.9	19 301	12,02	43,94
TSP	120	6,194.3	6,000.7	5,754.8	17 949,8	5,20	21,70
PNPA 15NG	30	5,666.4	5,378.9	4,939.8	15 985,1	3,22	21,31
PNPA 15 NG	60	6,299.9	5,918.6	5,723.4	17 941,9	12,17	43,27
PNPA 15NG	90	6,511.3	6,270.5	6,181.0	18 962,8	10,46	40,19
PNPA 15NG	120	5,578.4	5,713.3	5,974.2	17 265,9	0,07	16,00
PNPA 30NG	30	5,848.2	5,654.6	5,215.6	16 718,4	9,28	45,76
PNPA 30NG	60	5,942.0	5,613.6	5,830.0	17 385,6	6,20	34,00
PNPA 30NG	90	6,299.9	5,402.4	5,673.3	17 375,6	8,11	22,55
PNPA 30NG	120	5,965.5	6,071.1	5,573.0	17 609,6	3,29	18,86

(d'après I.F.D.C.)

TABLEAU N° 18 : efficacité comparée du super simple, du phosphate brut (PN_0) et de différentes formes granulées du phosphate de Tilemsi sur l'exportation de P_2O_5 par du maïs (parties aériennes) sur un sol vertique (Kogoni) et sur un sol ferrugineux tropical (SOTUBA)

Traitements	Kogoni	Sotuba
Super simple (SSP)	100	100
Phosphate brut (PN_0)	3	40
Phosphate brut granulé (PN_0G)	0,1	0,5
Phosphate attaque * 2 Granulé (PN_2NG)	14	9
Attaque phosphorique (A.P.G.)	49	39
Attaque phosphorique mini-granulé (APmG)	59	48

* les résultats sont exprimés en % par rapport au super simple

* Attaque sulfurique

(SAMAKE F. 1987)

TABLEAU N° 19 : effet de différents granulés sur le rendement de différentes cultures (Comité National de la Recherche Agronomique 24e Session (22 - 25 Avril 1986)) : Projet associé IER/FED

traitements	Poids grains kg/ha maïs (Tiérouale)	Coton-graine kg/ha		Rendement grains ml kg/ha		Rdt grain sorgho kg/ha (Kita)	Poids paddy riz kg/ha (Kogoni)
		N'TARLA	SAMANKO	CINZANI	KOPORO-KENIEPE		
T1 - Témoin O	244 e	1 548	750 c	593	657 c	535 c	1 221 e
T2 - Témoin NK	205 e	1 677	874 b	530	682 c	899 ab	3 639 bc
T3 - PNNG	1 335 a	1 804	1 019 ab	637	867 b	885 ab	4 060 abc
T4 - PNG	738 d	1 808	992 ab	485	735	969 ab	4 305 ab
T5 - PNG-Me	922 c	1 878	1 079 ab	611	707 c	844 b	4 774 a
T6 - PNG-PL	1 042 b	1 552	940 b	644	710 c	1 045 ab	3 665 bc
T7 - PNG-N (24 %)	971 bc	1 906	1 108 ab	641	790 b	965 ab	4 341 bb
T8 - CC	1 411 a	1 603	1 282 a	633	1 009 a	1 188 a	4 335 ab
T9 - PNG-U-K ₂ SO ₄			1 195 ab				
Moyenne générale	859	1 722	1 028	596	770	917	4 042
F.C.	60,94	1,12 %	2,79	0,67%	5,8 %	3,90	2,88
Risque	C,00 %		5 %	69,68	0,03	0,33 %	5 %
Signification	H.S	N.S	S.	N.S.	H.S.	H.S.	S.
CV %	16,34	19,56	25,12 %	29,5 %	15,3 %	25,39 %	17,89

Sigles : - PNNG = phosphate naturel non granulé
 PNC = phosphate naturel granulé
 Me = mélasses
 PL = plâtre

U = urée
 CC = complexe coton

5. Conclusion générale

Dans cette étude nous avons passé en revue un certain nombre de résultats expérimentaux sur le phosphate naturel de Tilemsi. Il ne s'agit pas là d'une revue exhaustive des travaux réalisés sur la question, mais d'une synthèse réunissant les éléments qui montrent à suffisance la valeur agronomique du phosphate de Tilemsi en application directe en champ.

Les résultats présentés concernaient plus particulièrement les caractérisations physico-chimiques, les essais en pots de végétation et en champs sur l'utilisation agronomique du PNT. Une dernière partie de ce travail a été consacrée aux résultats fournis par les diverses formes améliorées par granulation et ou l'acidulation partielle.

Une conclusion détaillée a été tirée à la fin de chaque chapitre. En guise de conclusion générale, nous reformulons les acquis qui suivent :

Le phosphate naturel de Tilemsi est un phosphate tendre qui finement broyé offre des résultats agronomiques très importants dès la 1ère année en utilisation directe comme fumure de fond et/ou comme fumure annuelle. Ces effets en champs du phosphate brut sont d'autant plus nets que le pH du sol est faible et la pluviométrie de la zone est élevée.

En moyenne, aucune forme améliorée granulée et/ou partiellement acidulée ne se révèle statistiquement supérieure au phosphate de Tilemsi brut. En riziculture irriguée, dans des conditions réducteurs et de faible acidité du sol (pH 7), certaines formes améliorées peuvent avoir des effets plus appréciables en première année.

Dans les sols argileux (argile 30 %) à fort pouvoir fixateur en phosphore, les phosphates naturels grâce à leur solubilité partielle assurent une meilleure alimentation phosphorée des cultures par rapport aux phosphates solubles.

A N N E X E

Cet Annexe a été rédigé pour répondre à quelques remarques d'ordre pratique faites par les utilisateurs.

REMARQUE 1 :

Comment aider les paysans à caractériser grosso-modo la nature de son sol, acide ou basique ? Y a t-il une carte des sols du Mali ? Donner une classification des terres arabes du Mali en précisant la nature des sols ou le PN peut être utilisé.

D'une manière générale les sols cultivés au Mali se classent parmi les sols ferrugineux tropicaux, mais l'on rencontre également des sols vertiques notamment à l'Office du Niger et ses sols hydromorphes dans les vallées basses et bas-fonds à engorgement temporaire ou permanent.

D'une manière générale les sols cultivés au Mali se classent parmi les sols Il existe une carte des sols du Mali établie par le PIRT (Projet Inventaire des Ressources Terrestres) mais à une échelle (1/500 000) telle qu'elle est surtout très utile pour une planification régionale. Il existe également plusieurs études ponctuelles plus détaillées.

De l'ensemble des analyses chimiques effectuées sur nos sols cultivés, il ressort qu'ils sont dans leur grande majorité acides . C'est là les conditions propices à l'utilisation du phosphate naturel. Cependant, l'efficacité du PN reste tributaire de la pluviométrie annuelle. Les zones à pluviométrie inférieure à 800 - 700 mm peuvent être considérées comme marginales d'utilisation du PN. Hormis cette disponibilité en eau du sol, le PN serait utilisable dans tous les sols cultivés du Mali à l'exception de quelques zones limités à pH élevé, notamment certaines superficies à l'Office du Niger où des remontées salines ont engendrées de pH souvent supérieurs à 8.

REMARQUE 2 :

L'élément CaO (ou Ca) a-t-il une action bénéfique sur la plante ?

Les deux principaux éléments d'un phosphate calcique sont, le phosphore et le calcium.

Les phosphates naturels, toujours considérés comme engrais phosphatés, peuvent être également utilisés en tant qu'engrais calciques (45 % de CaO pour le phosphate de Tilemsi). F. Samake (1985), travaillant sur les phosphates naturels de Kodjari (Burkina Faso) partiellement acidulé a montré qu'ils contribuaient significativement à l'augmentation du calcium autodiffusible dans les sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux. Il a été prouvé par la même occasion que le calcium participait efficacement à l'alimentation de la plante.

.../...

Le phosphate naturel du Tilemsi, de part sa bonne réaction en sol acide et du fait d'une phase carbonatée importante est susceptible d'assurer à l'état brut une bonne alimentation des plantes en calcium. Il faut noter que cet élément joue un rôle important dans l'alimentation de l'arachide et de la canne à sucre en particulier.

Cependant eu eu égard aux doses faibles d'application du PNT, on ne peut pas s'attendre à un relèvement du pH du sol sous l'effet du CaO (F. SAMAKE : 1983, 1987).

REMARQUES 3 :

Quels éléments ou produits faut-il apporter pour rendre plus efficace le PNT ?

L'utilisation du phosphate naturel de Tilemsi s'inscrit dans le cadre général de l'amélioration du milieu. Par conséquent son efficacité est fonction des besoins de chaque culture et du niveau dans le sol des autres éléments indispensables (loi du minimum).

Cependant, nous citerons particulièrement l'importance du synergisme Azote-Phosphore et le rôle de la matière organique dans l'alimentation phosphorique des plantes. Sur l'importance de la matière organique, de nombreux travaux ont été réalisés par différents auteurs : CHAMINADE (1944 et 1963) ; BARBIER et al (1946) ; FARDEAU et GUIRAUD (1971) ; FARES F. (1976) ; DE GUIDICI (1985) ; EVANS AJR (1985). Ces études concourent à montrer que par complexolyse et aciolyse la matière organique est capable de solubiliser les phosphates naturels. En ce qui concerne le phosphate de Tilemsi, des études sont en cours au niveau de la Recherche Agronomique pour améliorer sa solubilité par voie de compostage.

En dehors de ces phénomènes, la présence de matière organique réduit la fixation du phosphore par le fer et l'aluminium dans les sols tropicaux à fort pour fixateur.

REMARQUE 4 :

Donner les quantités de PNT à utiliser par hectare pour chaque culture et préciser les modes d'apports.

La dose actuellement recommandée est de 300 kgs/ha à apporter sur jachère l'année précédent la mise en culture, suivi d'un labour de fin de cycle. Cet apport peut être effectué en début de saison sur la culture avant la pulvérisation. Un apport en surface après installation des cultures est à proscrire.

Des études récentes ont montré que la dose de 300 kgs/ha n'apportait pas d'excédents de rendements supérieurs à ceux procurés par 200 kgs/ha (SANOGO 2 et al 1978). Cependant, l'utilisation du PN doit être perçue comme un facteur d'amélioration du milieu, de ce fait, étant donné la relative

.../...

immobilité du phosphore dans le sol, tout apport peut être considéré à moyen ou long terme comme améliorant le statut phosphoré du sol. Comme telle, la dose de PN doit être définie pour une rotation culturale ou pour des besoins de redressement ou de correction de carence phosphorée et non par culture.

REMARQUES 5 :

Aspects économiques de l'utilisation du PNT.

Si nous disposons de nombreux résultats agronomiques sur l'utilisation du PNT brut, il n'en est pas de même pour les études économiques. Nous n'avons pas présentement de référence d'études économiques détaillées fiables pouvant figurer dans le présent rapport.

.../...

BIBLIOGRAPHIE
=====

1. BARBIER G. , FARDEAU J.C. Absorption des ions phosphoriques à la surface des collaides argileux par l'intermédiaire des alcalins terreux ANN. Agron. 16,7 - 33
2. BROUWERS M. 1977 Contribution à l'étude de la fertilisation des sols du bas-Glaciis. Dynamique du phosphore, choix de l'engrais IRAT/Ronéo, 15 p
3. CHAMINADE R., 1944 Les formes du phosphore dans le sol, nature et rôle des complexes phosphohumiques. Ann. Agron. 14, 1-53
4. CHAMINADE R. 1963 a Effet physiologique des constituants de la matière organique des sols sur le métabolisme des plantes: la croissance et le rendement. The use of isotopes in soil organic matter studies. Prergaman press LONDON, 35 - 4.
5. DABIN B. 1971 Evolution des engrais phosphatés dans un sol ferrallitique dans un essai de longue durée. Phosphore et Agriculture N° 58, p. 1 - 14
6. DE GUIDICI P., 1985 Contribution à l'étude de la solubilisation microbienne d'un phosphate naturel en modèle rhizosphérique. Thèse INPL 139 p.
7. DELNAS I. 1986 Compte rendu des premiers résultats sur les modifications cristallographiques et chimiques provenant d'attaques acides ménagées sur le phosphate du Mali INPL/IRAT, 19 p.
8. Evans A.J.R., 1985 The absorption of inoyanic phosphate by a sandy soil influenced by dissolved organic compaunds. soil sci vol ; 140, N° 4, pp. 251 - 255
9. FARDEAU J.C. et GUIRAUD G. Mobilité du phosphore d'un sol ayant reçu du fumier pendant trente cinq ans. Acord. Agri. de France, pp. 1558 - 1605
10. FARES F. 1976 Contribution à l'étude du phosphore associé à la matière organique des sols. Thèse d'état, CNRS, n) 12649
11. FROSSARD E. 1985 Etude expérimentale de l'influence de composés organiques sur l'évolution des ions phosphatés en sol sol
12. IER/FED 1986 Effets comparés de différents composés granulés de phosphates naturels de Tilemsi sur les rendements du maïs, du cotonnier, du mil, du sorgho et du riz. Doc. Ronéo. 22 p - IER BAMAKO - MALI
13. IER/IFDC 1985 Maximisation de la rentabilité d'utilisation du phosphate tricalcique par les paysans. Rapport de la campagne 1984 et première synthèse de l'ensemble des résultats obtenus. Doc. Ronéo IER BAMAKO
14. IER/SRCV Rapports de synthèse commissions techniques, 1985, 1986, 1987

15. SENNY F. 1973 Expérimentation agronomique sur les phosphates naturels de Tilemsi (MALI) en conditions de culture sèche. Agro. trop. vol 28 N° 11, p. 1070-1078
16. KLOCLNER INDUSTRIE - Etude économique et technique en vue de ANLGEN G.M.B.H. 1968 l'exploitation d'un gisement de phosphates dans la région de Bourem, Rép. du Mali- Doc. Ronéo - Direction Nationale de la géologie et des mines Bko 63 p.
17. LACOUT J.L., ANDRE L. et Approche biotechnologique d'une production de fer- SAYAG D. 1983 tilisants phosphatés 3e congrès int. sur les composés phosphorés, Bruxelles 4-6 Oct. 533-542
18. LAURERO P. 1986 Etude de la solubilisation microbienne de différents phosphates naturels par des souches bactériennes isolées des rhizosphères du maïs et du pin Mémoire DEA. ENSAID - Nancy 50 p.
18. LE GOUX P. 1939 Esquisse géologique de l'Afrique Occidentale française Bull. Sew Reines AOF N° 4, 134 p.
20. Mc CLELLAN G.H. et DIAMOND Une évaluation technique des phosphates de la R.B. (traduit par TIGANAL) vallée du Tilemsi IFDC Muscle streals ALABAMA USA
21. MOUGUJAMA M. 1985 Influence des ions phosphates sur la dynamique de la matière organique dans les sols ferrallitiques. Thèse de Doc. Ing. - INPZ, Nancy 110p.
22. NGO CHAN BANG, OLIVER R. Contribution à l'étude du statut phosphorique des 1971 sols de Madagascar. C.R. Coll. sur l'énergie nucléaire et les applications biologiques à Madagascar terre Malgache n° 12, 179 - 193
23. PICHOT J. et ROCHE P. 1972 Le phosphore dans les sols tropicaux Agro.trop. (27) 9, 939 - 965.
24. PICHOT J. TRUONG B. et L'action des phosphates naturels d'Afrique de l'ouest BEUNARD P. 1979 sur l'absorption du phosphore par l'Agrostis et sur le phosphore isotopiquement diluable (valeur L) dans cinq sols tropicaux. In : symposium "Isotopes and radiations in research on soil - plant relation ship" FAO - IABA, Colombo, SRI - lanka, 11 - 15 Déc. 1978 p. 463 - 477, Vienna, iaea
25. PIERI C. 1967 Bilan de la recherche sur la fumure phosphatée au Mali Colloque sur la fertilité des sols tropicaux (TANANARIVE) Tome 1, 1139 - 1148
26. PIERI C. 1973 La fumure des céréales de culture sèche en Rép. du Mali. Premier essai de synthèse Agro. Trop. Vol (18) n° 8, p. 751 - 766
27. PONNAMPERUMA F.N. The chemistry of submerged soils Ad. in Agro. vol (24) A. 29 - 95

28. POULAIN J.F. 676 Amélioration de la fertilité des sols agricoles du Mali Bilan de treize années de travaux (1962-1974). Agro. trop. (31), 4, 103 - 416
29. ROCHE P. GRIERE L. Le phosphore dans les sols intertropicaux : appréciation des BABRE D. CALBA H. et niveaux de carence et des besoins en phosphore, IMPHOS, FALLAVIER P. 1980 Publi. sci. N° 2, 48 p.
30. SAMAKE F. 1983 Evaluation du pouvoir fertilisant des phosphates naturels partiellement acidifiés de KOUJARI (HAUTE_VOLTA) mémoire DAT/ESAT. Montpellier 65 p.
31. SAFGRAD/MALI 1982 Rapport de campagne 93 p. IER - BAMAKO - MALI
32. SAMAKE F. 1987 Contribution à la valorisation du phosphate naturel de Tilemsi (Mali), par l'action d'acides minéraux et de composés organiques humifiés. Thèse Doc. Ing. INPL Nancy 209 p.
33. SANOGO Z. GABOREL Etude des phosphates naturels de Tilemsi en zone cotonnière C.H. et TRAORE B 78(synthèse des travaux de recherche). Doc. Ronéo/IER BAMAKO 36 p.
34. THIBOUT F. TRAORE MF L'utilisation agricole des phosphates naturels de Tilemsi PIERI C. PICHOT 1978 (Mali). Synthèse des résultats de la recherche agronomique sur les cultures vivrières et oléagineuses. Doc. Ronéo IER BAMAKO 13 p.
35. TOURE M. 1973 Etude expérimentale de l'évolution des phosphates naturels tricalciques du Tilemsi et aluminique de THIES dans les sols tropicaux et de leur utilisation sur les plantes. THIES Universitaire KENNES 1298.
36. TRAORE A. 1976 Influence du chaulage du sol sur la solubilisation et l'efficacité des phosphates naturels tricalciques d'Afrique de l'Ouest. Etude en milieu contrôlé sur un sol ferrallitique de Madagascar. Mémoire, DEA - ENSA Montpellier.
37. TRAORE M.F. 1972 Evaluation de la fertilité des sols du Mali en vases de végétation. Séminaire ABIDJAN 22 - 20 Mai. 34 p.
38. TRUONG Binh 1984 Etude de l'efficacité d'une fumure phosphoorganique dans le sol Bior de Bambey (Sénégal) en vases de végétation. Compte rendu d'essais. Doc. Ronéo IRAT/Montpellier 5 p.
39. TRUONG Binh, PICHOT Caractérisation et comparaison des phosphates naturels tri- J. et BEUNARD P. 1978 calciques d'Afrique de l'Ouest en vue de leur utilisation directe en agriculture. Agro. Trop. 32 (2) : 136-145.

17/05/88

Rez.

IRA
Section Riz Irrigué
Maroua

SEMY
Direction Générale
Yagoua

N° 503

Détermination qualitative des carences
minérales dans trois sols rizicultivés

Bilan

FM



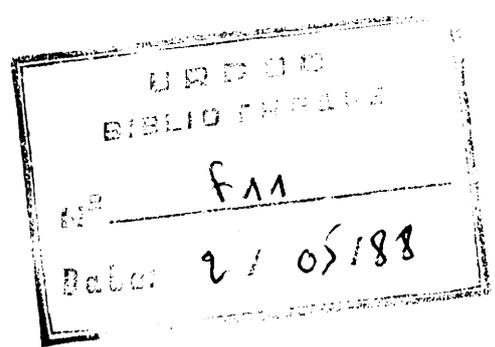
RETAIL
RO

503

Avril 1988

Ph.GODON
CIRAD/IRA

A.ADAMOU
IRA



2/0-5/88

Détermination qualitative des carences
minérales dans trois sols rizicultivés
Bilan

Introduction:

Dans la province de l'Extrême-Nord du Cameroun, 12 000 hectares ont été aménagés depuis 1973 pour permettre une riziculture irriguée. A partir de la contre-saison 1973-1974, la double culture annuelle est réalisée et le repiquage adopté.

La Société d'Expansion et de Modernisation de la Riziculture de Yagoua (SEMRY) vulgarise, très généralement, une fumure uniquement azotée à base de sulfate d'ammoniaque et d'urée.

Dans la quasi-totalité des casiers méridionaux les pailles sont brûlées autour de l'aire de battage, dans les rizières. Dans les périmètres septentrionaux, elles sont souvent exportées, soit pour l'alimentation des animaux, soit pour la construction.

Des dispositifs de suivi de l'évolution de la fertilité ont été mis en place à partir de 1980 dans les trois unités de production.

Méthode d'étude:

- Trois sols ont été identifiés. Ils correspondent à trois zones écologiques: (Annexe 1)

Yagoua (Vounaloum): sol argileux, bien pourvu en phosphore, relativement désaturé, à pH légèrement acide; pluviométrie moyenne 1981-1987: 720mm.

Maga (ferme) : sol argilo-sableux, pauvre en phosphore, à pH neutre; pluviométrie moyenne 1981-87: 530mm.

Kousseri : sol argilo-sableux, moyennement pourvu en phosphore, au complexe saturé, à pH légèrement acide, salé; pluviométrie moyenne 1981-87: 440 mm.

- Trois variétés de riz sont utilisées:

IR 46 variété vulgarisée sur l'ensemble des périmètres pour les deux saisons de culture. Elle est productive, à un cycle de 124 jours en saison des pluies, 150 jours en saison sèche, résistante à l'alcalinité et à la salinité.

IR 24 variété anciennement vulgarisée à un cycle de 117 jours en saison des pluies; sensible au froid, son cycle atteint 167 jours en saison sèche.

IR 4219 variété alternative d'IR 46, productive, résistante à l'égrenage et à la verse, à cycles plus courts: 113 jours en saison des pluies et 130 jours en contre-saison.

- Trois dispositifs expérimentaux ont été mis en place pour ces trois variétés:

IR 46 essai en randomisation totale à 8 répétitions et à traitements. Surface parcellaire 20,1 m². Labour en sec.

traitement 0: témoin absolu (sans engrais) (T00)

1: fumure complète (90N.90P.205.90K.20.15S) (FC)

2: fumure sans azote (0.90.90.15) (FC-N)

3: fumure sans phosphore (90.0.90.15) (FC-P)

4: fumure sans potasse (90.90.0.15) (FC-K)

5: fumure sans soufre (90.90.90.0) (FC-S)

6: fumure complète avec oligoéléments

(90.90.90.15+Oligo) (FC+Oligo)

7: fumure vulgarisée (90.0.0.0.) (FV)

Les engrais utilisés sont l'urée, le superphosphate triple, le chlorure de potasse, le soufre et l'acier de la soude.

Pour le traitement 7, on utilise le sulfate d'ammoniac et l'urée.

IR 24 essai en randomisation totale à 6 répétitions et 7 traitements.
Surface parcellaire 21,4m². Labour en sec.

traitement 0: témoin absolu (sans engrais) (T0)

1: fumure complète (90N-90P205-90K20-15S) (FC)

2: fumure sans azote (0-90-90-15) (FC-N)

3: fumure sans phosphore (90-0-90-15) (FC-P)

4: fumure sans potasse (90-90-0-15) (FC-K)

5: fumure sans soufre (90-90-0-15) (FC-S)

6: fumure complète avec oligoéléments (90-90-90-15 +
Oligo) (FC + oli)

Les engrais utilisés ici sont identiques à ceux d'IR 46. Il n'existe pas ici de traitement 7.

IR 4.19 essai en randomisation totale à 8 répétitions et 7 traitements. Surface parcellaire 20,4m². Labour sur deux cycles.

Les traitements mis en comparaison et les engrais utilisés sont identiques à ceux d'IR 46.

- Deux cycles de culture

L'un dit de saison des pluies (SP) semé en juin-juillet, l'autre dit de saison sèche (SS) semé en novembre-décembre.

Résultats

Sol riche en phosphore: Vouma. ONI

IR 24:

L'expérimentation a débuté en saison des pluies 1980 par un essai à blanc. Elle s'est terminée en saison sèche 1986. Nous disposons donc de 13 campagnes: 6 en SP, 7 en SS. La campagne SP 86 a été difficile, le drainage étant défectueux.

Tableau 1 Evolution des rendements cumulés en pourcentage du rendement fumure complète. ITC 4.

Campagne ⁺	FC ⁺⁺	0	2	3	4	5	6
1	7,7	77	96	95	106	100	103
2	13,8	75	89	99	99	98	94
3	20,4	75	87	97	99	97	95
4	27,7	74	85	93	97	94	91
5	33,1	73	84	97	98	95	92
6	38,8	71	82	96	99	96	93
7	45,9	69	80	96	99	97	91
8	51,6	69	80	97	100	98	93
9	58,9	68	79	96	100	98	93
10	64,6	69	78	96	100	99	93
11	69,8	68	77	97	102	101	95
12	75,2	68	78	97	101	101	95
13	81,4	66	77	96	100	101	93
<hr/>							
moyenne SP	6,0	4,1	4,7	5,7	5,9	6,0	5,6
moyenne SS	6,5	4,2	4,9	6,3	6,6	6,6	6,0

+: 1:SS 1980 2:SS 1980 + SP 1981

++: FC:traitement 1 fumure complète.en T/ha.

Dès la première campagne, le traitement sans engrais, témoin absolu est inférieur aux autres, en particulier au traitement fumure complète. A compter de la deuxième campagne, les deux traitements sans azote: témoin absolu et fumure complète sans azote sont inférieurs aux 5 autres traitements.

La carence en azote s'aggrave après plusieurs campagnes, la baisse de rendement liée à l'absence d'engrais est égale à 27,3 T pour 13 campagnes (2,1T/cycle).

Une fumure phosphopotassique, sans azote, produit un rendement cumulé sur 13 campagnes inférieur de 13,9T (1,5T/cycle).

L'analyse statistique des résultats montre que les rendements moyens sur 13 campagnes sont significativement différents si les traitements ne comprennent pas d'azote. (annexe IV).

Quelque soit le traitement, le rendement de saison sèche est supérieur à celui de saison des pluies. Des analyses de pailles à la récolte ont été effectuées en saison humide 1980, 81 et 82. Des analyses de feuilles paniculaires ont été réalisées en saison sèche 81-82- et 86-87. (Annexe II)

Pailles En SP 80, essai à blanc, le rendement moyen est égal à 6T comme en SP 81 et 82. Généralement, les teneurs en pailles en K, Ca, et Mg sont de bons indicateurs de l'alimentation en bases du riz. Les niveaux critiques adoptés sont respectivement 1%, 0,15% et 0,1%. On mesure donc une consommation de luxe en potasse, une bonne alimentation en calcium, et une teneur critique en magnésium, hormis en SP 1980. Il n'existe ni différence significative entre les traitements ni différence significative entre les cycles.

Feuilles Le rendement moyen de la contre saison 81-82 est égal à 6T; ceux de la SP 82 et de la SS 86-87 à 5T. L'analyse des feuilles paniculaires permet d'évaluer l'alimentation en azote et en phosphore. Les seuils généralement admis sont 2 à 2,5% pour N et 0,15-0,18% pour P. Les teneurs en N et P sont donc suffisantes en SS 81-82 et SP 82 et insuffisantes en SS 86-87. Lors de cette dernière campagne, il n'existe pas de différence significative entre les traitements. Les seuils critiques proposés par la littérature (Ponnamperuma, Velly) sont ici trop élevés. On note cependant que pour les traitements sans azote, les teneurs en N, P et K sont les plus faibles.

IR 46

L'expérimentation a débuté en saison des pluies 1983. Elle a été arrêtée en saison sèche 1986-87 après 8 campagnes. Seule la campagne SP 86 a été difficile du fait du grainage défectueux.

Tableau 2 Evolution des rendements cumulés en pourcentage du rendement fumure complète IR 46 Vougloum.

Campagne †	FC ⁺⁺	0	2	3	4	5	6	7
1	4,5	67	63	67	81	105	113	85
2	10,0	63	68	94	93	99	113	92
3	16,5	60	67	92	94	94	110	89
4	23,3	60	67	91	94	96	106	91
5	29,6	58	66	91	96	96	105	91
6	35,5	57	65	90	96	97	104	92
7	40,9	57	66	89	96	97	101	91
8	47,6	56	64	88	97	97	101	91
Moyenne SP	5,7	3,3	3,8	5,0	5,3	5,4	5,2	4,9
Moyenne SS	6,2	3,4	3,9	5,4	6,2	6,1	6,2	5,9

†: 1: SP 1983 2: SS 1983 + SS 1983-84

++: FC: traitement 1 fumure complète en 2/ha.

Dès la saison sèche 1983, les traitements sans azote sont significativement inférieurs à ceux contenant de l'azote (risque 5%). A partir de la saison sèche 1984, les traitements témoin absolu, fumure sans azote et fumure sans phosphore sont significativement inférieurs aux autres et statistiquement différents entre eux. Les traitements sans azote en moyenne des 3 campagnes sont significativement différents entre eux et différents des traitements avec azote. Les traitements sans phosphore et avec azote sont inférieurs aux traitements avec phosphore. En particulier le traitement 7 (fumure vulgarisée, azote seul) est significativement inférieur aux traitements fumure complète ou FC sans potasse. (Annexe IV). Contrairement à l'essai réalisé avec IR 24, une carence en phosphore est apparue. Cet ensemble sol-IR 46 est potentiellement moins productif que l'ensemble sol-IR 24, t été précédemment (-8%). Pour les deux variétés, la saison sèche permet de récolter 0,5T/ha de plus qu'en saison des pluies pour le traitement fumure complète. En ce qui concerne le traitement fumure vulgarisée, la différence entre les deux cycles atteint 1T/ha avec IR 46.

IR 42 19

L'expérimentation a débuté par un essai à blanc en SP 84 et s'est terminée en SS 85-86. L'implantation a toujours été défectueuse la mise en boue mécanique étant difficile dans ce système.

Tableau 3 Evolution des rendements en T/ha et pourcentage de rendement fumure complète IR 42 19

Campagne ⁺	FC ⁺⁺	0	2	3	4	5	7
1	3,3	57	45	98	107	95	106
2	8,3	67	67	98	107	96	99
3	12,7	60	61	99	103	96	92

+ : 1:SS 1984-85 2:SS 84-85 + SP 85

++ : FC: traitement 1 fumure complète en T/ha.

Il est difficile sur 3 campagnes de suivre l'évolution de rendements. On observe cependant l'existence d'une carence qui semble plus forte en azote que celles mesurées pour IR 24 et IR 46.

Dès la troisième campagne le traitement fumure vulgarisée (azote seul) est significativement inférieur aux traitements contenant de l'azote. La bonne tenue du traitement sans phosphore et les résultats de traitement sans potasse peuvent être soulignés. (Annexe IV).

Sol pauvre en phosphore: Maga

IR 46

L'expérimentation n'a été conduite qu'aux deux campagnes de 1986.

Tableau 4 Rendements cumulés en pourcentage du rendement fumure complète IR 46 liaga

Campagne +	FC ++	0	2	3	4	5	6	7
1	6,1	64	72	97	100	103	93	93
2	11,1	60	64	93	98	101	97	93

+: 1: SP 86 2: SP 86 + SS 86-87

++: FC: traitement 1, fumure complète en T/ha.

Les traitements sans azote sont significativement inférieurs aux autres traitements durant les deux campagnes.

Le traitement fumure complète sans phosphore est, au cours de la saison sèche, significativement inférieur aux traitements fumure complète et fumure complète avec oligoéléments. La somme des rendements des deux campagnes montre les traitements 0, 2, 3 et 7 inférieurs à 1, 4, 5 et 6. Il existe donc une carence en azote et une carence en phosphore.

Sol salé: Kousseri

IR 46

L'expérimentation a débuté en saison sèche 1982 et s'est poursuivie jusqu'en saison des pluies 1986, soit durant 8 campagnes. Les problèmes d'irrigation ont été constants et ont conduit à supprimer les résultats de la saison sèche 1984.

Tableau 5 Rendements cumulés en pourcentage des rendements fumure complète IR 46 Kousseri.

campagne +	FC ++	0	2	3	4	5	6	7
1	2,7	81	127	126	111	107	123	131
2	8,1	78	94	109	101	105	111	111
3	12,3	75	92	104	100	102	109	106
4	18,3	73	90	103	100	100	105	103
5	-	-	-	-	-	-	-	-
6	22,6	72	91	101	100	99	105	100
7	27,1	70	90	101	101	99	103	99
8	33,2	69	87	100	100	99	102	98
Moyenne SP	5,4	3,8	4,5	5,3	5,3	5,3	5,5	5,2
Moyenne SS	3,8	2,6	3,6	4,0	4,0	3,8	4,0	3,7

Les rendements moyens obtenus sont faibles. Les difficultés d'irrigation et la sécheresse de l'air lors de la floraison de saison sèche réduisent considérablement les rendements obtenus en contre-saison.

Les différences entre traitements sont alors réduites. Il apparaît alors une carence nette sur le traitement sans fumure et une carence en azote qui s'aggrave au cours des cycles sur le traitement sans azote. En moyenne des 7 campagnes utilisables, seule la carence en azote est mise en évidence par l'analyse statistique des rendements (Annexe IV). Des analyses de feuilles paniculaires récoltées à la floraison ont été effectuées lors de la saison sèche 1982-83.

L'analyse des rendements en grains ne montre pas de différence significative entre les traitements 7, 2, 3, 6, 4, 5 et 1 d'une part, 4, 5, 1 et 0 d'autre part. Il n'existe pas de relation significative entre les teneurs mesurées et les rendements en grains obtenus. On note en particulier une teneur liminale en N pour le traitement fumure complète (rendement faible 2,7T/ha) et une teneur plus élevée en N pour le témoin sans engrais au rendement minimum (2,2T/ha).

Les teneurs en P sont constantes quelque soit le traitement.

Les concentrations en fer et en manganèse sont bonnes, celles en zinc et en soufre bien que satisfaisantes, sont plus proches du seuil critique.

Discussion et Conclusion

Dans un sol bien pourvu en phosphore total et en phosphore assimilable, la carence en azote apparaît, elle s'aggrave au fur et à mesure des campagnes agricoles. Il peut arriver localement qu'une carence modérée en phosphore apparaisse.

Un sol pauvre en phosphore total et en phosphore assimilable montre rapidement des carences en azote et en phosphore.

Un sol moyennement pourvu en phosphore total et assimilable après sept cycles culturaux entraîne seulement l'identification d'une carence en azote. Il n'est pas possible de lier statistiquement les rendements obtenus aux teneurs en éléments minéraux des pailles et des feuilles paniculaires. En particulier, les rendements faibles liés à des fumures sans azote ne peuvent être reliés ni avec la teneur en azote des feuilles paniculaires, ni avec la teneur en azote des pailles. Les calculs des rapports des teneurs entre elles ne permettent pas de mettre en évidence de déséquilibres. Des études complémentaires devraient chercher à préciser l'organe et le stade optimal de prélèvement permettant d'identifier les seuils à partir desquels des chutes de rendement de 30 à 45% sont mesurées là où la fumure ne contient pas d'azote.

On doit cependant souligner que là où des analyses chimiques ont été réalisées (IR 24 à Vounaloum et IR 46 à Kousseri) les rendements moyens obtenus sans apport d'azote atteignent 4T:ha.

Lorsque l'irrigation est bien conduite, dans un dispositif perenne, en milieu maîtrisé, il est possible de mettre en évidence la productivité supérieure de la saison sèche sur la saison des pluies (+ 500 kg/ha, + 8%).

En ce qui concerne l'analyse des sols, les seuils de carence en phosphore peuvent être placés comme suit:

Phosphore assimilable Olsen supérieur ou égal à 40 ppm: pas de carence après 13 cycles,

Phosphore assimilable Olsen supérieur ou égal à 16 ppm: pas de carence après 7 cycles,

Phosphore assimilable Olsen inférieur ou égal à 10 ppm: carence rapide.

Annexe I

Analyse des trois sols

	ESP IR24 Vounaloum		ERA Maga		ESP IR46 Kousseri	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
Argile	43,8	41,5	36,9	38,4	32,6	33,1
limon	16,2	14,1	9,8	10,1	12,1	12,4
sable t f	16,0	15,7	18,0	17,2	17,6	17,9
sable f	14,7	16,2	20,1	27,5	33,1	32,5
sable g	9,5	12,5	7,2	6,8	4,6	4,1
Mo	1,23	1,03	0,89	0,88	0,94	1,01
C	0,72	0,60	0,52	0,51	0,55	0,59
N	1,23	2,20	0,51	0,52	0,55	0,59
C/N	6	3	10	10	10	10
Pt	560	491	180	178	294	270
Po	41	40	10	10	16	14
Ca	6,59	6,21	9,75	9,98	9,95	9,36
Mg	4,30	3,65	5,66	5,90	3,97	3,65
K	0,35	0,34	0,40	0,38	0,32	0,30
Na	0,41	0,42	0,65	0,74	4,57	5,62
S	11,65	10,62	16,46	17,00	18,81	18,93
CEC	19,33	18,49	19,82	20,24	19,86	19,68
V	60	57	83	84	95	96
Na/S	3	4	4	4	24	30
Mg/S	37	34	34	35	21	19
Ph eau	6,55	7,90	7,04	7,14	9,03	9,21
Ph Kcl	5,10	6,60	5,17	5,13	6,70	6,83
C	99	297	69	61	247	369

granulométrie en % (tf:très fin,f:fin,g:grossier)

matière organique et carbone en % azote en ‰

phosphore total et phosphore assimilable Olsen en ppm

bases en milliéquivalents pour cent grammes de sol

conductivité à 25°C extrait au 1/10^e pour Vounaloum, au 1/5^e pour Maga et Kousseri.

Na/S et Mg/S en ‰.

Annexe II
Analyses végétales

Composition centésimale de divers organes de la variété IR 24

	FC	0	2	3	4	5	6
<u>Paille</u>							
N 80	0,68	0,73	0,70	0,71	0,71	0,66	0,74
81	0,88	0,81	0,82	0,80	0,87	0,88	0,90
82	0,61	0,64	0,58	0,62	0,69	0,63	0,64
P 80	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,07	0,09
81	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,11
82	0,08	0,10	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09
K 80	2,89	2,50	3,18	2,86	2,83	3,09	2,70
81	2,85	2,73	2,67	2,67	3,01	2,80	2,88
82	2,63	2,31	2,61	2,26	2,50	2,66	2,50
Ca 80	0,23	0,22	0,21	0,21	0,22	0,22	0,24
81	0,31	0,28	0,28	0,27	0,30	0,29	0,27
82	0,25	0,25	0,24	0,23	0,24	0,26	0,24
Mg 80	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,10	0,13
81	0,10	0,08	0,08	0,10	0,10	0,10	0,09
82	0,07	0,09	0,08	0,09	0,09	0,10	0,09
<u>Feuille</u>							
N 81-82	2,40	2,71	2,33	2,47	2,37	2,30	2,50
82	2,68	2,70	2,67	2,70	2,65	2,69	2,62
86-87	1,53	1,50	1,47	1,70	1,60	1,63	1,54
P 81-82	0,26	0,28	0,25	0,27	0,23	0,24	0,27
82	0,21	0,20	0,21	0,20	0,18	0,20	0,19
86-87	0,14	0,13	0,12	0,15	0,14	0,15	0,14
K 81-82	1,56	1,80	1,43	1,54	1,32	1,42	1,72
82	1,19	1,22	1,18	1,17	1,19	1,16	1,11
86-87	1,35	1,17	1,18	1,26	1,31	1,26	1,37
Ca 81-82	0,60	0,71	0,55	0,55	0,51	0,50	0,65
82	0,31	0,31	0,32	0,33	0,32	0,31	0,35
86-87	0,55	0,58	0,60	0,55	0,60	0,56	0,58
Mg 81-82	0,26	0,20	0,20	0,20	0,17	0,19	0,23
82	0,12	0,11	0,13	0,12	0,12	0,12	0,11
86-87	0,11	0,11	0,10	0,12	0,12	0,12	0,12
S 81-82	0,24	0,22	0,20	0,22	0,20	0,20	0,24
82	0,17	0,18	0,20	0,18	0,18	0,17	0,17
86-87	-	-	-	-	-	-	-

Annexe II

Analyses végétales

Composition des feuilles paniculaires de la variété IR46

Kousseri saison sèche 1982-83

	FC	0	2	3	4	5	6	7
N	2,49	2,82	2,75	2,80	2,77	2,64	2,60	2,81
P	0,19	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
K	1,05	1,06	1,12	1,13	1,10	1,08	1,09	1,03
Ca	0,49	0,53	0,52	0,50	0,51	0,48	0,50	0,54
Mg	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	0,10
S	0,11	0,18	0,18	0,18	0,18	0,16	0,16	0,18
Zn	22	23	26	21	23	22	21	22
Fe	526	517	665	470	518	485	465	444
Mn	871	1044	1024	974	951	904	899	1260

N, P, K, Ca, Mg et S en pourcentage de la matière sèche

Zn, Fe, Mn en partie par million de la matière sèche.

Annexe III

Analyse statistique des rendements

Cycle	cv %	test Fisher	différence T/ha
IR 24V			
1	10,3	HS	
2	14,1	HS	0,59
3	11,4	HS	0,58
4	16,0	S	0,49
5	21,1	S	0,96
6	19,6	HS	1,19
7	10,4	HS	1,01
8	17,0	HS	0,41
9	14,6	HS	0,90
10	9,5	HS	0,03
11	14,0	HS	0,27
12	12,7	HS	0,50
13	21,1	HS	0,39
somme	6,0	HS	1,23
			0,12
IR 46V			
1	26,0	HS	
2	12,0	HS	1,06
3	14,8	HS	0,37
4	7,1	HS	0,69
5	6,5	HS	0,18
6	6,8	HS	0,12
7	12,9	HS	0,12
8	11,3	HS	0,33
somme	6,2	HS	0,64
			0,10
IR 4219V			
1	18,3	HS	
2	13,9	HS	0,27
3	12,4	HS	0,45
somme	10,5	HS	0,21
			0,16
IR 46M			
1	14,5	HS	
2	13,4	HS	0,81
			0,58
IR 46K			
1	28,4	S	
2	11,0	HS	0,75
3	15,1	HS	0,32
4	12,4	HS	0,35
5	33,9	EC	0,48
6	14,9	HS	0,29
7	14,7	HS	0,36
8	6,6	HS	0,36
somme	7,2	HS	0,13
			0,10

Annexe IV

Analyse des rendements moyens interannuels

Essai	R2	cv	Ftrt	DLtr	DLer
IR 24V	0,88	6,0	36,61	6	30
IR 46V	0,92	6,2	79,88	7	49
IR 4219V	0,81	10,5	32,91	7	49
IR 46K	0,77	7,2	23,12	7	49

Classement -Duncan 5%

IR 24V		IR 46 V		IR 4219 V		IR 46 K	
FC-S	a	FC + oli	a	FC-K	a	FC + oli	a
FC	a	FC	a	FC + oli	a	FC-K	a
FC-K	a	FC-S	a	FC	ab	FC-P	a
FC-P	ab	FC-K	a	FC-P	ab	FC	a
FC + oli	b	FV	b	FC-S	ab	FC-S	a
		FC-I	b	FV	b	FV	a
FC-N	a	FC-N	c	FC-N	c	FC-N	b
Too	d	Too	d	Too	c	Too	c