

EN0101579
p355
ND1

REPUBLIQUE DU SENEGAL
Un Peuple • Un But • Une Foi

MINISTERE DE L'AGRICULTURE



INSTITUT **SENEGALAIS** DE RECHERCHES AGRICOLES

Route des Hydrocarbures • Bel-Air • Tel : (221) 832-24-31/23 Fax : (221) 832-24-27 -BP 3 120 • DAKAR • (Sénégal)

***UTILISATION DU PHOSPHOGYPSE
DANS LES SOLS DE LA VALLEE
ALLUVIALE DU FLEUVE SENEGAL***

Par
Jean Pierre NDIAYE
Pédologue
Directeur Scientifique ISRA

Août 1999

UTILISATION DU PHOSPHOGYPSE DANS LES SOLS DE LA VALLEE ALLUVIALE DU FLEUVE SENEGAL

Par
Jean Pierre NDIAYE
Pédologue, Directeur Scientifique ISRA

Avant-Propos

La note élaborée et diffusée par le PSI-CORAF et relative aux « possibilités d'utilisation du phosphogypse pour la fertilisation des sols irrigués dans la vallée du fleuve Sénégal » a, semble-t-il, provoqué une controverse sur ce produit. Cette note, en effet, a été diffusée au moment où un vaste programme de phosphatage de fond des sols est en cours d'exécution à travers toutes les zones agroécologiques du pays, mais surtout à un moment où certains agriculteurs de la vallée du fleuve étaient sur le point d'apporter sur leurs terres, un mélange de phosphate tricalcique et de phosphogypse.

La présente note a pour objectif d'apporter un éclairage sur les conditions dans lesquelles le phosphogypse pourrait être utilisé comme amendement dans certains types de sols de la vallée alluviale du fleuve Sénégal.

1. Qu'est-ce que le **phosphogypse** ?

Sous-produit de la synthèse de l'acide phosphorique par voie humide, le phosphogypse a une composition très variable qui dépend dans une large mesure de la composition des phosphates naturels à partir desquels il est obtenu. Le tableau 1 présente la composition de phosphogypse produit au Sénégal. La lecture du tableau 1 montre que le phosphogypse constitue principalement une source de calcium (CaO) et de soufre (S) et non de phosphore (P_{205}). Il apparaît également que le phosphogypse contient des métaux lourds à faible concentration. Il s'agit surtout du plomb (Pb), du cadmium (Cd) et du chrome (Cr). Ces métaux peuvent être toxiques pour les plantes, même à faible concentration.

Il convient de rappeler que le calcium est souvent envisagé comme amendement. Cependant, il joue un rôle non négligeable dans la physiologie de la plante, surtout en fonction des rapports Ca/Mg ou Ca/K. Son rôle est important dans la conservation de la structure du sol.

Quant au soufre, c'est un aliment important pour les végétaux, constituant de certaines protéines et enzymes, activateur de la respiration. Comme source de calcium et de soufre le phosphogypse peut logiquement être considéré comme un produit avec une certaine valeur fertilisante. Cependant, en raison du rôle du calcium dans la conservation de la structure du sol le phosphogypse constitue un amendement pour les sols « à problèmes », tels que les sols acides avec un taux d'aluminium échangeable élevé ou les sols salés sodiques dont le complexe d'échange est largement dominé par le sodium (Na). En effet, dans ces derniers types de sols la présence de Na entraîne la dispersion des argiles et l'effondrement de la structure du sol.

Tableau 1 : Composition de phosphogypse produit au Sénégal

Source des résultats d'analyse	P ₂ O ₅ %	S %	CaO %	MgO %	K ₂ O %	Na ₂ O %	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	F %	Mn ppm	Cu ppm	Zn ppm	Pb ppm	Cr ppm	Ni ppm	Cd ppm
CIRAD-CA-GEC	0.99	14.64	32.26	0.01	<0.5	0.07	0.15	0.27		2.3	3.5	<1.0	5.3	24.2	2.8	15.8
ICS :SENCHIM	1.7	18.0	32.0				Trace	Trace	0.56							

2. Principales caractéristiques des sols de la Vallée Alluviale du fleuve Sénégal

L'inventaire cartographique le plus complet des sols de la Vallée est sans doute celui du projet SEDAGRI-OMVS-FAO (1973) qui a réalisé une étude au 1/50 000 depuis Bakel jusqu'à la mer couvrant les deux rives sénégalaise et mauritanienne, sur 11200 Km² environ.

Il est généralement établi que la pédogénèse dans la partie la plus aval du delta est essentiellement saline, soit à cause des inondations par les eaux de surface saumâtres, soit à cause des mouvements ascendants de la nappe superficielle chargée en sels solubles. En plus de cette salure, on enregistre souvent des manifestations acides liées à la présence de composés sulfatés issus de la mangrove fossile,

Il convient de noter que la séquence classique des différentes unités géomorphologiques transversalement à la vallée a été maintes fois décrite et se retrouve régulièrement répétée à tous les niveaux.

Depuis la dune, jusqu'au lit mineur, on distingue :

- les sols bruns ou brun rouge isohumiques de dunes ;
- les sols peu évolués colluviaux de mi-glacis de raccordement dune-cuvette ;
- les sols hydromorphes colluviaux de bas glacis et de terrasse ou plage ;
- les vertisols modaux de cuvette et les vertisols hydromorphes de fond de cuvette ;
- les sols salés plus ou moins évolués, plus ou moins vertiques des levées fluvio-deltaïques ;
- les sols peu évolués des levées subactuelles ;
- les sols minéraux bruts des bourrelets de berge.

Cette diversité de sols aux propriétés physiques et chimiques si diverses et variées devrait inciter à plus de prudence dans les recommandations souvent formulées sous forme de recettes, que ce soit en matière de fertilisation minérale ou d'apport d'amendements minéraux.

2.1 Cas des sols de la basse vallée

L'on estime à peu près à 2 000 km² la superficie des sols affectés à des degrés divers par les sels sur la rive sénégalaise. Ces sols sont surtout concentrés dans la partie la plus basse de la vallée, le delta, qui va de Richard-Toll à l'embouchure.

Cependant, des manifestations de salure affectent localement des sols situés plus en amont jusqu'à Podor et même ponctuellement jusqu'aux environs de Salde (Loyer, 1989).

Dans tous les cas, la salure observée est de type chlorure-sulfaté d'origine marine ou lagunaire, essentiellement sodique et magnésien à laquelle peut se

superposer une alcalisation liée à une sodicité excessive et souvent due à une évolution secondaire. Dans certaines zones, notamment dans la zone côtière, on enregistre une acidification plus ou moins prononcée due à l'oxydation des sulfures de la mangrove et qui se superpose au phénomène de salure.

L'acidité résiduelle des sols est souvent forte (pH 3 à 6), ce qui n'exclut pas des phénomènes d'alcalisation secondaire (Loyer, 1989).

2.1.1 Salinité des nappes

Le calcul des activités des ions dans les nappes permet de déterminer si celles-ci sont ou non saturées vis-à-vis de tel minéral. C'est ainsi que, pour les sulfates et le gypse, lorsqu'il y a équilibre entre les ions en solution et le minéral on a :

$$K = \frac{(Ca^{++})(SO_4^{--})}{(CaSO_4 \cdot 2H_2O)}$$

K = produit de solubilité du gypse. Par convention $(CaSO_4 \cdot 2H_2O) = 1$

Les activités chimiques sont placées entre parenthèses. Selon les auteurs, la valeur de K varie entre $10^{-4.4}$ et $10^{-4.8}$

Il convient de noter que la valeur maximum du produit des activités $(Ca^{++})(SO_4^{--})$ calculée pour un certain nombre d'échantillons d'eau de nappe du Delta est d'environ $10^{-4.6}$, ce qui suggère une précipitation de gypse à partir des eaux de nappe les plus concentrées. Ceci est confirmé par les cristaux de gypse fréquemment observés dans les sols salés du Delta.

2.1.2 Distribution de la salinité

La salure des sols salés se caractérise par une très grande hétérogénéité. Ceci rend extrêmement difficile la définition de règles de répartition des sols dans les différentes unités morphologiques. Néanmoins, les faits suivants ont été mis en évidence.

- La salure globale au niveau des burrelets de berge qui bordent le fleuve et les défluent augmente au fur et à mesure de l'éloignement du lit mineur d'écoulement.
- Le maximum de salure est enregistré au milieu des levées du fluvio-deltaïque haut, pour décroître latéralement vers les bordures de cuvette.
- Les deltas de rupture du fluvio-deltaïque bas sont généralement moins salés et les sols sont répartis de façon plus hétérogène que dans les levées.
- La salure globale des sols des cuvettes de décantation augmente du fond de cuvette vers les bordures.

L'importance de l'hétérogénéité spatiale de la salinité aussi bien au sein du même type de sol que d'un type de sol donné à un autre, rend plus difficile la mise au point de mesures de lutte efficaces, notamment la détermination des doses d'amendements nécessaires. Dans ces conditions, les analyses de sol peuvent grandement contribuer à mieux rationaliser les conseils en matière d'amendements pour restaurer la fertilité des sols salés sodiques.

3. Efficacité du **gypse** et du **phosphogypse** dans les **sols** de la vallée alluviale du fleuve **Sénégal** : un réexamen des preuves expérimentales

Il convient de rappeler que le phosphogypse est essentiellement du gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et donc, il conserve les propriétés physiques et chimiques de base du gypse normal.

Mutsaers et Van der Velden (1973) ont réalisé des études de dessalement des terres salées du Delta du fleuve Sénégal durant trois années (1970-1973) sur la cuvette de Boundoum Ouest (100 ha).

C'est ainsi qu'ils ont expérimenté un système qui comportait un drainage profond avec des drains enterrés à différentes profondeurs et à différents écartements en présence d'une couche d'argile de moins de un (1) mètre sur des sables et limons stratifiés. Les diverses situations étudiées étaient les suivantes :

- Drainage avec drains ouverts ou enterrés ;
- Espacement variable des drains (33 à 200 m) ;
- Amendements divers (chaux, gypse, coquillages broyés) ;
- +Travaux culturaux (labour profond, chissel, enfouissement de chaume).

Les résultats de ces expérimentations montrent la possibilité du dessalement des sols argileux par percolation sans interruption de plus de 50 jours, de 400 mm d'eau (90 % de dessalement par rapport à la salinité initiale dans l'argile de surface, et 80 % sur tout le profil) ; et de 600 mm d'eau (respectivement 95 et 91 % de dessalement de la couche argileuse). Les drains enterrés profonds associés à l'épandage au moins d'une dose de 4t/ha de gypse ont constitué la méthode la plus efficace sur le plan technique, puisqu'un dessalement complet du profil sur un mètre est obtenu en trois (3) ans.

Il convient de noter que la qualité des sols de la vallée alluviale du fleuve Sénégal dépend en partie de la quantité de sels qui y sont présents. Les équilibres ioniques exercent aussi une influence sur cette qualité. Loyer (1989) a étudié l'évolution des équilibres ioniques dans le sol dans plusieurs cuvettes de décantation.

C'est ainsi qu'il a montré qu'entre 1980 et 1983, une indéniable accumulation relative de sodium s'était produite. Selon l'auteur, cela expliquerait une alcalisation dans certains endroits du Delta, nécessitant une application de gypse pour neutraliser le sodium. Cependant, à la place du gypse l'auteur a testé un autre amendement calcique (chaux) au laboratoire à titre expérimental sur colonnes de sol.

Il ressort de cette expérimentation que le sol additionné de chaux avait une perméabilité meilleure que le sol naturel et l'élimination des sels avait été améliorée par l'amendement calcique.

Dans une étude consacrée à la caractérisation des propriétés physiques et chimiques des sols du Delta du fleuve Sénégal (Raes et Deckers, 1993), la tendance

vers l'alcalisation qui a été observée par Loyer (1989) ne s'était pas confirmée à Pont Gendarme, ni à Ndiaye après une longue période d'irrigation. Sur la base de ces résultats Raes et Deckers (1993) ont conclu qu'une application de gypse ne s'imposait pas.

Un des enseignements à tirer des résultats précédemment cités est que l'apport de gypse et de phosphogypse doit se faire avec discernement en fonction du type de sol, de ses propriétés physiques et chimiques, notamment en tenant compte du taux de sodium sur le complexe d'échange (NB : le seuil limite admis pour l'alcalisation est de 10-15 %) ou de la teneur en aluminium échangeable pour les sols acides. Il convient toutefois de rappeler que l'alcalisation des sols n'est pas aisée à mettre en évidence analytiquement en présence de quantités importantes de sels solubles.

Des essais de démonstration réalisés en collaboration avec la SAED ont été implantés dans le Delta du fleuve Sénégal pour le dessalement de parcelles de riz grâce à l'utilisation de phosphogypse (Kane, 1999). C'est ainsi que quatre (4) paquets technologiques variables selon les doses d'engrais employées ont été testés. Les résultats obtenus montrent des rendements de paddy de 9 300 kg/ha à Nianga et 9 250 kg/ha à Bakel. La dose de 1000 kg/ha de phosphogypse combinée à 200 kg/ha de DAP et 200 kg/ha d'urée a été la plus efficace sur sols salés. Ces résultats sur le rendement du riz ne sont malheureusement pas accompagnés d'informations sur le niveau de salinité et le taux de Na sur le complexe d'échange avant et après les tests de démonstration.

Une question légitime que l'on peut se poser est de savoir quel peut être le comportement du phosphogypse dans des sols avec des teneurs en gypse relativement élevées ? Dans les conditions où les solutions sont à l'équilibre avec le gypse l'on peut s'attendre à ce que la dissolution du phosphogypse apporté comme amendement se fasse difficilement. Mais cet équilibre peut être vite perturbé, notamment par un drainage qui entraîne une sous-saturation des solutions par rapport au gypse. Dans ces conditions, le phosphogypse peut se dissoudre progressivement.

Comme nous l'avons vu précédemment, le phosphogypse contient des métaux lourds à faible concentration. Par exemple, la teneur en cadmium est de l'ordre de 16 ppm, soit 16 g/t. Des applications massives et répétées de phosphogypse pourraient donc conduire à une accumulation de cet élément dans le sol et éventuellement dans les cultures. Si l'amendement est apporté sous forme de mélange (50 % phosphate tricalcique de Taïba + 50 % phosphogypse) alors plus de cadmium risque de s'accumuler dans le sol. En effet, ce mélange d'après les analyses effectuées par le CIRAD a une teneur de :

Cd = 51.6 ppm
Ni = 29.8 ppm
Cr = 96.7 ppm
Pb = 5.3 ppm
Cu = 27.7 ppm
Mn = 108 ppm

Ainsi, une dose de 400 kg/ha du mélange phosphogypse + phosphate tricalcique de Taïba apporte environ 20.6 g Cd à l'hectare. Rappelons d'ailleurs que

les teneurs en cadmium du phosphate de Taïba varient entre 70 et 115 ppm tandis que celles en mercure (Hg) se situent entre 250 et 1000 ppb.

Une autre question légitime que l'on peut se poser est de savoir sur quoi repose la recommandation qui consiste à apporter un mélange phosphogypse (50 %) + phosphate tricalcique (50 %) dans les sols de la vallée alluviale du fleuve Sénégal ? Pourquoi 50 % de chaque produit et pas 75 % d'un produit et 25 % de l'autre ? Existe-t-il des référentiels techniques sur l'efficacité d'un tel mélange tant sur la productivité des cultures que sur l'amélioration foncière des sols salés sodiques ?

Il est généralement admis que les sols de la Vallée alluviale du fleuve Sénégal sont pauvres ou très pauvres aussi bien en phosphore total qu'en phosphore assimilable.

Par ailleurs les études sur la fumure phosphatée (Diatta et Cissé, 1985) ont conduit à des recommandations d'apport de phosphore pour compenser les exportations des récoltes et le remplacement du phosphate d'ammoniaque par le phosphate tricalcique de Taïba ou le phosphate de Thiès (Phospal). Pour des rendements de 5 à 6 t/ha de riz-paddy les doses à apporter seraient de 150 et 175 kg/ha, respectivement pour le tricalcique de Taïba et le phospal. L'utilisation de ces phosphates naturels dans les conditions pédoclimatiques de la vallée du fleuve Sénégal repose donc sur des bases expérimentales.

Qu'en est-il du mélange phosphate tricalcique et phosphogypse ?
Il semble que pour la vallée du fleuve Sénégal, l'apport de ce mélange repose plutôt sur un raisonnement « agronomique » simple.

Le phosphate tricalcique permet de compenser les exportations en phosphore sur ces sols carencés en cet élément et le phosphogypse grâce à l'apport de calcium permet de lutter contre les effets néfastes du sodium sur la structure du sol et le dessalement.

Les résultats d'analyses du mélange phosphogypse + phosphate tricalcique effectuées par le CIRAD indiquent les teneurs suivantes :

CaO = 40.6 %,
MgO = 0.04 %
K₂O < 0.5 %,
Na₂O = 0.08 %
Fe₂O₃ = 0.49 %
Al₂O₃ = 0.77 %,
P₂O₅ = 19.12 %
S = 6,17 %.

Ainsi un apport de 400 kg/ha de ce mélange correspond à une dose de 76 kg P₂O₅/ha, 162 kg CaO/ha et 27 kg S/ha. Une dose de 76 kg P₂O₅/ha ne constitue pas un phosphatage de fond. Elle ne compense que les exportations.

On remarquera que la dose de 162 kg CaO/ha est nettement inférieure à celle apportée par une dose de 1000 kg/ha de phosphogypse (322 kg CaO/ha) et qui s'est révélée être la dose la plus efficace dans les essais démonstrations précédemment cités (Kane, 1999). Elle est également sans commune mesure avec la dose de 4 t/ha

de gypse que Mutsaers et van der Velden (1973) ont identifiée comme la, plus efficace pour un dessalement complet du profil.

Il semble donc qu'il y ait extrapolation des recommandations destinées aux conditions de cultures exondées à une réalité tout à fait différente que constituent les sols alluviaux de la vallée du fleuve Sénégal.

Il convient de rappeler que Fardeaux et al (1983) ont montré que des apports même au niveau de 125 kg P/ha ne modifie pas la fertilité des sols Fondé et Hollaldé à très fort pouvoir fixateur. La notion de phosphatage de fond s'applique donc mal à ces types de sols. Chercher à accroître les réserves de ces sols en phosphore (phosphatage de fond) est un objectif irréaliste compte tenu de leur fort pouvoir fixateur. L'entretien des réserves assimilables à leur niveau actuel et la recherche d'une méthode de fertilisation phosphatée procurant, dès l'année qui suit l'épandage, les rendements maximaux sont deux objectifs que l'agronome devrait chercher à atteindre dans la fertilisation de ces sols à fort pouvoir fixateur (Fardeaux et al, 1983).

Conclusion

La possibilité d'utiliser le phosphate tricalcique de Taïba dans les sols alluviaux de la vallée du fleuve a été largement démontrée dans de nombreuses expérimentations. Il en est de même du phospal. Dans ces conditions, il ne s'agit point de procéder à un phosphatage de fond mais d'apporter une quantité de P_2O_5 à l'hectare qui compense les exportations du riz pour un rendement donné. Quant à l'utilisation du phosphogypse, elle peut se justifier dans des sols salés sodiques ou dans des sols acides avec une teneur élevée d'aluminium échangeable. Les quantités de phosphogypse employées actuellement dans la vallée dans le cadre de ce qu'on appelle abusivement (pour la vallée) « programme de phosphatage de fond » paraissent nettement insuffisantes pour un dessalement complet du profil au regard des résultats expérimentaux disponibles.

L'apport de quantités plus importantes de phosphogypse (1-4 t/ha) devrait s'accompagner d'un suivi du devenir des métaux lourds contenus dans ce produit, surtout si les apports sont répétitifs.

BIBLIOGRAPHIE

- Diatta, S. et Cisé, L.. 1985. Fertilisation phosphatée du riz irrigué dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal.
Rapport de synthèse. Doc. ISRA
- Fardeaux, J.C., Diatta, S. Ndiaye, J.P et Jappe, J. 1983. Choix de la fertilisation phosphorique dans quelques sols du Sénégal : Utilisation du phosphore 32. Agron. Trop. 38 (2) : 103-109
- Kane, A. 1999. Restauration de la productivité des sols : Essais démonstration amendements phosphocalciques et dessalement. Doc. ICS/SENCHIM. 17 p.
- Loyer, J.Y. 1989. Les sols salés de la basse vallée du fleuve Sénégal.
Editions ORSTOM. Collections Etudes et Thèses, Paris, France 137 p.
- Mutsaers, M. et van der Velden. 1973. Le dessalement des terres salées du Delta du fleuve Sénégal. Bilan de trois années d'expérimentation (1970-1973). OMVS St-Louis.
- Raes, D. et Deckers, J. (eds). 1993. Les sols du Delta du fleuve Sénégal. Propriétés physiques et chimiques Projet Gestion de l'eau, Coopération Scientifique Kuleuven – SAED Bulletin Technique N° 8. 84 p.
- SEDAGRI-OMVS-FAO (1973). Etude hydro-agricole du fleuve Sénégal. Etude Pédologique, FAO Rome DP. RAF 65-061.