

CN0101344

REPUBLIQUE DUSENEGAL

Un Peuple Cii But • Une Foi

MINISTEREDEL' AGRICULTURE



INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES

Route des Hydrocarbures - Bel-Air - Tel : (221) 832-24-31/23 Fax : (221) 832-24-27 - BP 3120 - DAKAR - (Sénégal)

**RECAPITALISATION DES RESERVES
PHOSPHATEES DES SOLS DU
SENEGAL : INTERÊT ET LIMITES**

Par
Jean Pierre NDIAYE
Pédologue
Directeur Scientifique ISRA

CNRA - BAMBEY - SDI
Date 07/12/99
N° 05/11/46
SDI

Octobre 1999

AVANT-PROPOS

Ces dernières années, on a noté un regain d'intérêt pour la régénération de la fertilité des sols. C'est ainsi qu'en Afrique, de nombreux ateliers ont été organisés pour réfléchir sur l'élaboration de stratégies nationales pour la régénération de la fertilité des sols en Afrique sub-saharienne. Ces stratégies incluent naturellement les phosphates naturels et d'autres types d'amendements (fumier, compost etc). Au Sénégal, un programme de phosphatage de fond a été initié en 1997 pour restaurer la fertilité phosphorique des sols du pays comme ce fut d'ailleurs le cas dans les années 70. Mais ce programme comporte un certain nombre d'incohérences.

Notre objectif en rédigeant le présent document est de réexaminer les bases théoriques de la fumure de redressement, de fournir des idées pratiques et des sources d'informations supplémentaires aux personnes et aux organismes qui s'efforcent, avec les agriculteurs, de résoudre le problème de la carence en phosphore des sols du Sénégal.

Ce document s'adresse aux agents de développement agricole, aux chercheurs, aux organisations paysannes et aux décideurs. Il devrait également intéresser des professeurs et des étudiants d'universités et d'écoles d'enseignement agricole.

RECAPITALISATION DES RESERVES PHOSPHATEES DES SOLS DU SENEGAL : INTERET ET LIMITES

Par
Jean Pierre NDIAYE
Pédologue
Directeur Scientifique ISRA

INTRODUCTION

Une production agricole soutenue à long terme est intimement liée à une utilisation appropriée des ressources pédologiques, ce qui inclut le maintien ou l'amélioration de la fertilité des sols. L'une des formes de la conservation des sols est la fertilisation, soit que l'on cherche à maintenir une productivité élevée à un niveau constant par une fumure d'entretien, soit que l'on tende au contraire à ramener à un niveau satisfaisant et pour plusieurs années, par une fumure de fond (de redressement), une productivité déficiente en raison de la carence d'un élément quelconque dans le sol.

En ce qui concerne le phosphore, on peut déduire des études de Gachon (1969, 1977, 1982) qu'un sol dont la valeur L (décrite par Larsen et mesurée selon le protocole modifié par Gachon) est inférieure à 200 ppm P, n'est pas suffisamment pourvu et qu'il convient de « l'enrichir ». Or pour la majorité des sols du Sénégal, non seulement la quantité de phosphore assimilable n'atteint pas cette valeur seuil, mais encore celle du phosphore total lui est inférieure (Bouyer, 1971 ; Roche et al., 1978 ; Roche, 1981). En fait la carence chimique la plus fréquente dans les sols du Sénégal est celle du phosphore. La recherche d'une technique de fertilisation phosphorique adaptée à chaque type de sol du Sénégal permettrait une intensification de la productivité des sols au plus bas coût sans pour autant diminuer leurs potentialités futures.

Pour y arriver, il convient de tenir compte notamment du fait que des minerais de phosphates sont exploités localement et qu'il est nécessaire d'apprécier les limites de leur utilisation, en fonction des conditions pédoclimatiques.

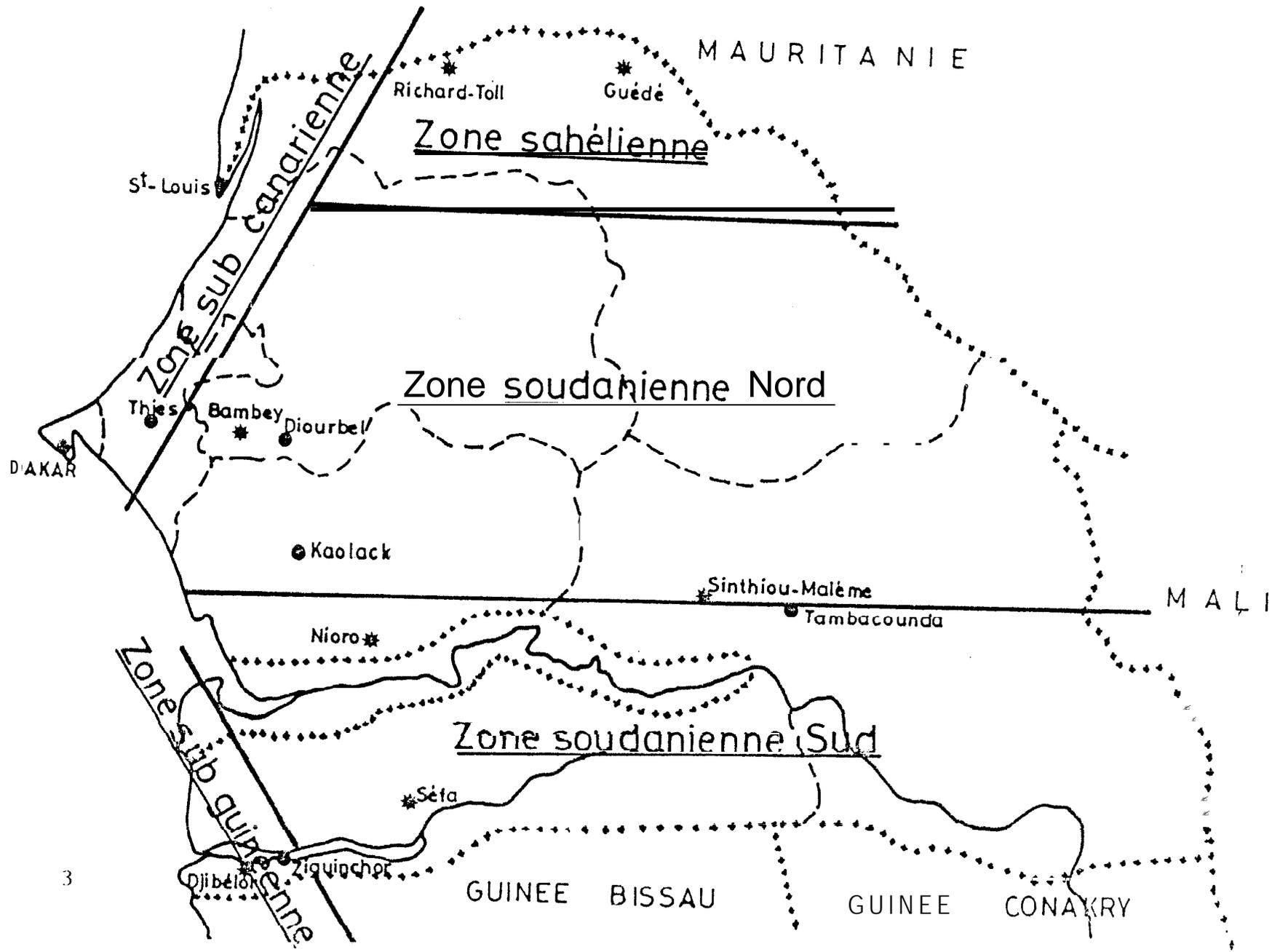
1. LE MILIEU NATUREL

1.1 Le Climat

L'on peut aisément distinguer cinq zones climatiques au Sénégal (Figure 1) :

- Une zone sahélienne au Nord ;

Figure 1 -LES ZONES CLIMATIQUES SENEGALAISES-



- Une zone soudanienne divisée en deux (2) sous-zones : partie Nord et partie Sud ;
- Une zone sub-canarienne le long du littoral Saint-Louis - Dakar ;
- Une zone sub-guinéenne au Sud-Ouest.

La pluviométrie augmente du Nord au Sud et d'Ouest en Est. Au Sud du pays., la pluviométrie augmente d'Est en Ouest. Sur l'ensemble du territoire national on compte deux saisons très tranchées :

- Une saison des pluies de juin à octobre en moyenne avec un allongement du Nord au Sud ;
- Une saison sèche de Novembre à Juin.

1.2 Les Sols

Les éléments présentés ici sont, dans leur large majorité, extraits de Ndiaye et Sagna (1989).

Dans la classification française les sols du Sénégal se répartissent en sept (7) classes scindées en seize groupes (Figure 2).

1. Sols alluviaux halomorphes et hydromorphes ;
2. Vertisols lithomorphes sur marnes ou schistes ;
3. Sols minéraux bruts et peu évolués ;
4. Sols isohumiques bruns subarides ou bruns rouges sur sables colluviaux ou alluviaux ;
5. Sols ferrugineux tropicaux faiblement lessivés en fer sur sables siliceux à l'Ouest et grès argilo-sableux à l'Est .
6.
 - a) Sols ferrugineux tropicaux lessivés, sans taches, ni concrétions ferrugineuses au Nord, avec taches et concrétions ferrugineuses vers le Sud, sur sables ou grès sablo-argileux, cuirasse pouvant affleurer ;
 - b) Sols ferrugineux tropicaux lessivés, avec taches et concrétions ferrugineuses et parfois pseudo-gley, sur schistes gréseux ou grès, cuirasse pouvant affleurer ;
7. Sols ferrallitiques sur grès sablo-argileux.

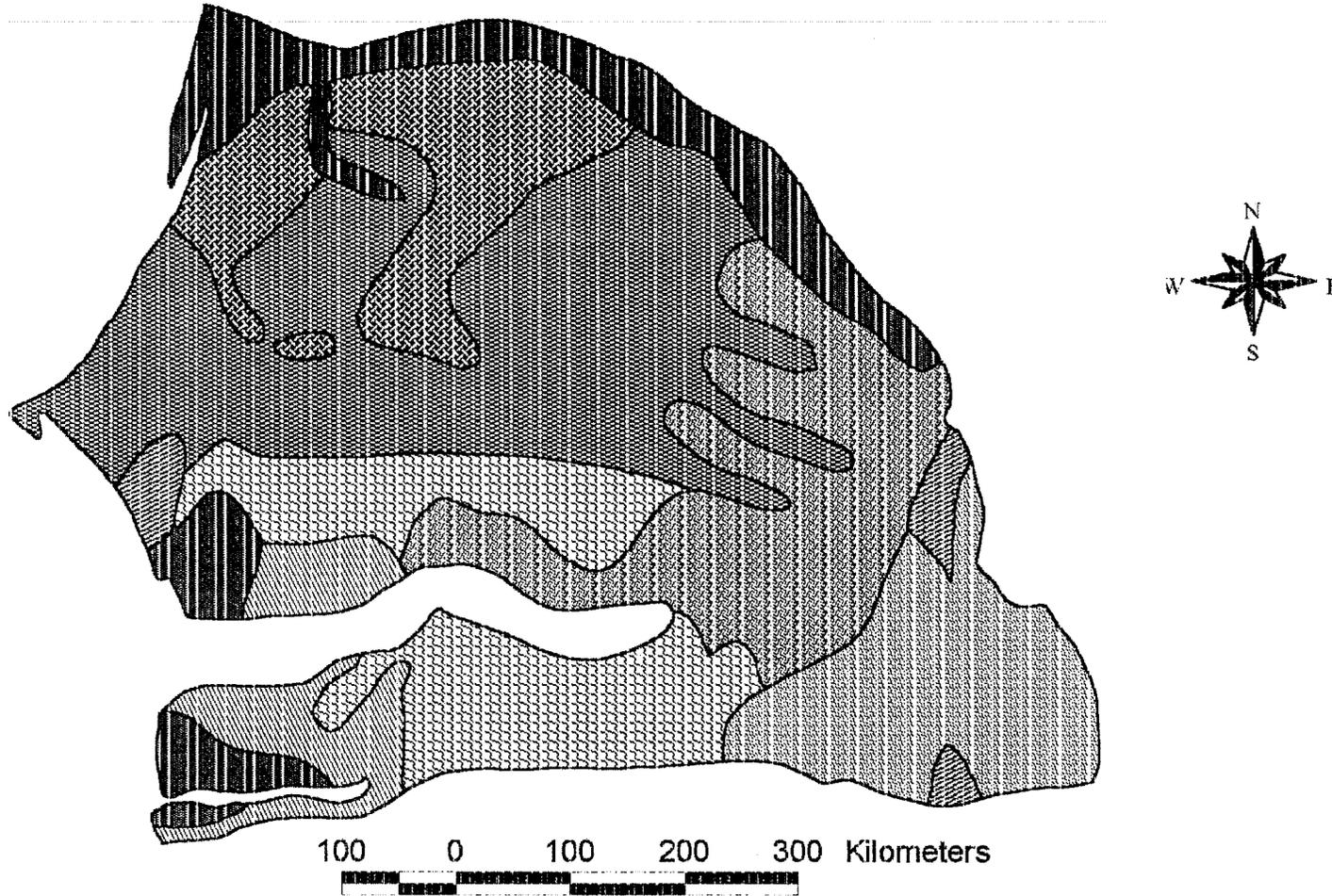
La figure 2 est une adaptation de Dancette (1974) de la carte pédologique au 1/1 000 000 de Maignien (1965).

L'examen de la figure 2 montre que la répartition des sols est conforme au principe de zonalité. En effet, on note que la zone sahélienne se caractérise par la présence des sols sub-arides tandis que la zone soudanienne et la zone guinéenne se caractérisent respectivement par des sols ferrugineux tropicaux et des sols ferrallitiques.

Le matériau originel provient essentiellement des formations superficielles du bassin sédimentaire, sables quaternaires au Nord, sables argileux du Continental.

CARTE PEDOLOGIQUE SIMPLIFIEE DU SENEGAL

Figure 2



Pedosim

-  idem que (1) avec concrétions et parfois pseudogley sur schistes gréseux ou grès
-  sols alluviaux halomorphes et hydromorphes
-  sols bruns subarides ou brun-rouge sur sables colluviaux ou alluviaux
-  sols dior fer. trop. faibl. less. sur sabl.silic. à l'O et grès sabl.arg. a l'E
-  sols ferrallitiques sur grès argileux
-  sols ferru. trop. les., sans tache ni concret. au N. avec vers le sud (1)
-  sols minéraux bruts et peu évolués, cuirassés avec inclusion de sols lessivés
-  vertisols lithomorphes sur marnes ou schistes

Terminal au Centre-Est et Sud avec des matériaux dérivant du socle cristallin et tabulaire à l'Est (Bèye, 1977).

On rencontre dans la presqu'île du Cap-Vert des formations plus anciennes du Crétacé, du Paléocène et de l'Eocène avec des grès et grès calcaires, marnes, marnocalcaires et calcaires. Sur ces formations se sont développés des Vertisols et sols bruns calcaires. Par contre, le long du littoral atlantique, on rencontre des dépôts fluviaux ou fluvio-deltaïques, mis en place lors des transgressions et qui correspondent aux sols de mangroves.

Il y a donc une assez grande diversité de sols au Sénégal. Cependant la production agricole du pays provient essentiellement des sols ferrugineux tropicaux peu ou pas lessivés, des sols ferrugineux tropicaux lessivés sans taches ou à taches et concrétions et des sols faiblement ferrallitiques. Malgré leur potentiel de fertilité relativement élevé, les Vertisols, les sols bruns calcaires, les sols alluviaux et de mangroves sont encore relativement peu cultivés.

Cette diversité de sols aux propriétés physiques, chimiques et biologiques si 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.

1.2.1 Caractéristiques de quelques sols du Sénégal

Dans le tableau 1 sont consignées des données essentielles de quelques sols types du Sénégal. Les études pédologiques qui ont été réalisées montrent que, mise à part la zone du fleuve Sénégal, les sols sont très voisins et se caractérisent par un très faible pourcentage d'argile qui croît vers l'Est et le Sud du pays (Tourte et al, 1968). Les informations contenues dans le tableau 1 confirment d'une part la prépondérance des sables dans la majorité des sols, et d'autre part, la très faible teneur en phosphore total.

Il convient de rappeler que les sols ferrugineux tropicaux ont un comportement agronomique inerte pour deux raisons essentielles (Piéri, 1989) :

- ils sont pauvres en colloïdes organo-minéraux et sont peu gonflants ;
- leur activité physico-chimique de surface est faible en raison notamment de quatre faits :
 - La surface spécifique colloïdale d'adsorption est très limitée à cause de leur texture grossière sableuse et de leur teneur peu élevée en éléments fins ;
 - la structure de la kaolinite ne permet pas une forte rétention ionique ;
 - les sols sont constitués de colloïdes minéraux à « charge variable » (sesquioxydes, kaolinite, silice colloïdale à faible activité physico-chimique de surface).

Tableau 1 : Caractéristiques de quelques sols du Sénégal

Site	Type de sol	Granulométrie			P total ppm P	N total ‰	PH eau	C°/‰
		A %	L %	S %				
Bambey	Ferrugineux Tropical	5	3.8	91.2	146	0.2	6.5	3.2
Missirah	Ferrugineux Tropical lessivé	5.7	15.5	78.6	75	0.3	6.0	5.0
Sinthiou- Malème	Ferrugineux Tropical lessivé	5.6	22.7	70.0	62	0.4	5.9	5.5
Sédhiou	Ferralitique désaturé	6	12.6	81.0	83	0.3	5.6	3.2
Séfa	Hydromorphe	12.2	14.0	73.8	222	0.8	6.9	6.0
Fanaye	Hydromorphe	41	40	20	220	0.6	5.9	4.7

(Source : Fardeau et al, 1983)

Ces sols ont un très faible pouvoir fixateur vis-à-vis des anions phosphates. En effet, en raison de la surface spécifique réduite et des sites d'adsorption peu nombreux, ces anions n'ont pas la possibilité d'être massivement retenus dans ces sols ferrugineux tropicaux ;

Sur le plan agronomique, cela implique que dans ces sols, très fréquemment carencés en phosphore, les cultures réagissent très favorablement à des doses d'engrais phosphatés, que ceux-ci soient apportés sous forme très soluble (superphosphate simple, triple, phosphate d'ammoniaque) ou sous forme de phosphates naturels relativement solubles (Piéri, 1989).

1.2.1.1 Le Phosphore dans les sols du Sénégal

Le phosphore dans les sols se répartit en différents pools :

- le phosphore immédiatement disponible pour les plantes (phosphore biodisponible) c'est-à-dire le phosphore de la solution du sol et une portion du phosphore labile ;
- le phosphore organique ;
- le phosphore minéral sous forme de phosphate d'alumine, phosphate de fer, phosphate de calcium.

A titre d'exemple, voici la répartition des formes du phosphore déterminé par la méthode Chang et Jackson dans les sols Hollaldé de la vallée du fleuve Sénégal (Ndiaye, 1987).

<u>Formes du phosphore</u>	<u>Teneurs en P₂O₅ (ppm)</u>
Phosphate d'alumine	42.7
Phosphate de fer	92.4
Phosphate de calcium	50.6
Phosphate de fer d'inclusion	267.7
Phosphate d'alumine d'inclusion	49.4

On remarquera que le phosphore actuellement existant se trouve en majeure partie bloqué sous des formes minérales incluses dans des revêtements ferrugineux donc inaccessibles aux racines des plantes.

Enfin notons que le pouvoir fixateur en phosphore des sols Hollaldé est très élevé (814 ppm P₂O₅).

2. QU'ENTEND-ON PAR RECAPITALISATION DES RESERVES PHOSPHATEES

Le phosphore organique et le phosphore lié au fer, à l'aluminium et au calcium constituent ce qu'on peut par analogie appeler le « capital phosphore » (capital P). La quantité de phosphore dans le pool « capital P » reflète l'aptitude du sol à fournir à long terme du phosphore au pool de phosphore immédiatement disponible pour les plantes. Cette aptitude du sol est désignée par le terme « pouvoir tampon » à l'égard du phosphore. Ce « capital P » peut être comparé à de l'argent déposé dans un compte d'épargne à la banque. Plus ce compte est fourni, plus élevé est le montant de l'intérêt qu'il génère. Le phosphore immédiatement disponible pour les plantes et le « capital P » sont tous deux sensibles aux pratiques culturales et modes de gestion de la fertilité phosphorique des sols.

Le « capital P », conçu comme un capital productif, produit des intérêts s'il est employé correctement, mais s'amenuise irrémédiablement s'il est soumis à une utilisation abusive. Il y a donc lieu de distinguer entre les mesures de régénération du « capital P » et celles qui visent à entretenir la fertilité phosphorique à un niveau élevé (Piéri et Steiner, 1997).

La première catégorie de mesures concerne, par exemple, l'application de phosphates naturels. Ce sont des investissements ponctuels qui profitent le plus souvent non seulement aux exploitations concernées, mais aussi à la société dans son ensemble dans la mesure où ils contribuent à l'amélioration notamment de la sécurité alimentaire (Piéri et Steiner, 1997). Les coûts de ces opérations doivent être répartis sur tous les bénéficiaires au sein de la société.

La seconde catégorie de mesures concerne la protection et/ou le maintien d'un « capital P » de qualité : application d'engrais et dosages adaptés à l'alimentation des plantes, rotation appropriée des cultures. Ces mesures doivent être entièrement financées par les exploitations.

3. CORRECTION DE LA CARENCE EN PHOSPHORE DES SOLS

Le concept de « recapitalisation » implique la reconstitution du stock (des réserves) de phosphore dans le pool « capital P » dont dépend en partie une production agricole élevée et durable. La notion de « réserves » est bien connue et couramment employée en terminologie minière (Syers, 1997). Une réserve désigne un dépôt pour lequel il existe des données concernant son épaisseur et son importance (obtenues par exemple au moyen d'un forage) et dont le tonnage a été évalué avec une précision suffisante.

Par analogie avec la terminologie minière et dans le contexte de l'approvisionnement des plantes en phosphore, l'expression « réserves du sol » désigne des formes minérales de phosphore qui proviennent des minéraux d'origine du sol et dont on possède une connaissance adéquate. Ces substances minérales sont généralement d'origine primaire quand elles proviennent d'une roche-mère, mais peuvent être également d'origine secondaire quand elles sont issues de dépôts altérés ou de dépôts éoliens.

La principale technique de correction des déficits en phosphore dans les sols consiste à utiliser les fertilisants chimiques phosphorés (Harmsen, 1997). L'intensification de la production agricole exige avant tout une action déterminée visant à assurer la nutrition des plantes par les moyens suivants (Dudal, 1997) :

- reconstitution des éléments fertilisants prélevés dans le sol par les récoltes ;
- compensation des pertes dues à l'érosion et au lessivage ;
- amélioration de l'état de fertilité des sols naturellement pauvres en éléments fertilisants ;
- réhabilitation des sols épuisés du fait d'une exploitation intensive.

Au Sénégal, la mise au point d'un schéma de fertilisation phosphatée adaptée a suivi les étapes suivantes :

- détection de la carence phosphatée ;
- détermination des fumures de correction ou de redressement permettant de corriger cette carence et d'atteindre le potentiel de production ;
- détermination des fumures d'entretien permettant de compenser les exportations par les plantes et les pertes par lessivage, de façon à maintenir intacte la richesse chimique du sol, tout en assurant de hauts niveaux de production.

3.1 Correction de la carence en phosphore des sols à faible pouvoir fixateur

Comme indiqué précédemment, les sols ferrugineux tropicaux à de rares exceptions près peuvent être considérés comme carencés à l'origine en phosphore. Depuis longtemps, il a été conseillé de corriger cette carence originelle par des apports de phosphate naturel tricalcique produit au Sénégal. La dose préconisée était de 500 kg/ha de phosphate tricalcique, soit environ 200 kg P_2O_5 /ha, quantité largement calculée pour la correction de la carence. D'autres études réalisées ont montré que cette dose était suffisante et qu'il était inutile de l'augmenter.

Par ailleurs, l'on a également étudié l'efficacité comparée de diverses formes de phosphates naturels, l'intérêt d'associer phosphatage de fond et labour d'enfouissement et les époques possibles d'application du phosphate au cours de la rotation.

Le phosphate de Taïba broyé s'est révélé, à Bambey, la forme de phosphate la plus intéressante du point de vue économique. L'action du phosphate naturel apparaît nettement renforcée en présence d'un labour d'enfouissement.

Une fois la carence initiale en phosphore corrigée par une fumure de redressement (phosphatage de fond) la fumure phosphatée d'entretien peut atteindre son maximum d'efficacité (coefficient d'utilisation apparent voisin de 1). Les doses de cet élément dans les fumures d'entretien correspondent à peu près aux quantités exportées par les cultures, compte tenu des restitutions partielles par les résidus de récolte.

Après la création de la Société Industrielle pour les Engrais du Sénégal (SIES), il a été décidé de n'employer le phosphate tricalcique que pour la correction de la carence initiale des terres en phosphore. La dose de correction proposée était de 400 kg/ha de phosphate tricalcique pour l'ensemble des terres exondées du Sénégal. Compte tenu du fait que la corde (1 corde = $\frac{1}{4}$ d'hectare) est une unité de surface bien connue des agriculteurs, il était plus facile de vulgariser la nouvelle dose de 400 kg/ha car cela représentait deux sacs de 50 kg par corde. Cette dose devait être apportée tous les quatre ans

3.2 Correction de la carence en phosphore des sols à fort pouvoir fixateur

Il a été indiqué précédemment que les sols de la vallée alluviale du fleuve Sénégal (sols Hollalde et Fonde) ont un pouvoir fixateur en phosphore très élevé (814 ppm de P_2O_5) en raison des caractéristiques minéralogiques de leurs argiles. En effet, les argiles sont composées de 60 % de minéraux gonflants, essentiellement des smectites et des interstratifiés, de 30 % de kaolinite, 5 % d'illite et 5 % de chlorite (Boivin et al., 1995). Il semble que cette répartition soit à peu près constante, bien que le taux d'argile lui-même varie dans le paysage.

Ces sols étant carencés en phosphore et possédant un fort pouvoir fixateur l'on pensait dans les années 60 qu'il convenait de saturer les sites de fixation du sol en phosphore par un apport massif de P_2O_5 (phosphatage de fond) puis d'apporter un supplément de phosphate annuel sous forme soluble (apport de supertriple) pour compenser les exportations. L'on s'est vite aperçu que pour saturer les sites de fixation du sol en phosphore, il fallait apporter de très fortes doses (jusqu'à 1000 kg P_2O_5 /ha).

Quelques années plus tard Fardeau et al. (1983) ont confirmé cette observation puisqu'ils arrivent à la conclusion que des apports même au niveau de 286 kg P_2O_5 /ha, ne modifient pas la fertilité phosphorique de ces sols à très fort pouvoir fixateur. Ces sols ne pouvant donc voir leur réserve de phosphore assimilable accrue par des apports de phosphate économiquement supportables, il ne peut être donc question de chercher à accroître leurs réserves : l'apport de phosphore doit être limité à la compensation des exportations.

Dans de tels cas, l'agronome doit avoir pour objectifs simultanés, 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 (Fardeau et al., 1983).

Bien que l'efficacité des engrais phosphatés non chimiquement traités, tels que le phosphate tricalcique de Taïba et le phospal, soit faible, il est légitime de les utiliser dans ces sols de rizières avec comme seul objectif l'entretien du niveau présent de fertilité phosphorique. Par exemple, pour des rendements de 5 à 6 t/ha de riz-paddy les doses à apporter seraient de 150 kg/ha de phosphate tricalcique de Taïba et de 175 kg/ha de phospal (Diatta et Cissé, 1985).

4. PERSPECTIVES STRATEGIQUES POUR LA RESTAURATION DE LA FERTILITE PHOSPHORIQUE DES SOLS

Depuis 1972, et sur la base des travaux de recherche, une politique d'intensification a été menée qui visait, entre autres, à restaurer puis à préserver la fertilité des sols. Ce fut la vulgarisation des thèmes dits « lourds » dont le phosphatage de fond et la fumure minérale forte (concentrée). Ceci nécessitait un dessouchage préalable et des labours. Dans cette opération le phosphate était offert gratuitement aux agriculteurs comme prime au dessouchage. Différents problèmes se sont posés dont :

- le prix élevé des engrais concentrés ternaires ;
- l'absence fréquente d'essouchement donc de labour et d'enfouissement du phosphate naturel
- etc...

Cette expérience s'arrêta cependant en 1980 avec l'arrêt du Programme Agricole. Cependant, quoiqu'il en soit, il n'y a pas d'alternative à la poursuite des efforts d'intensification, si l'on veut à la fois améliorer la sécurité alimentaire et accroître les recettes d'exportation.

Toute politique d'intensification nécessite un ensemble complet de facteurs de production : semences, engrais, matériel agricole, produits phytosanitaires. Elle doit en outre être mise à jour en permanence. Si l'on désire améliorer la fertilité des sols du Sénégal, on dispose de moyens d'intervention, allant d'une politique des prix départ exploitation familiale, de la sécurité des régimes fonciers, de l'accès au crédit, de l'accès aux marchés, du rapport prix des intrants/prix des produits, de l'approvisionnement en engrais et de la distribution, à l'accès à l'information sur les méthodes de gestion améliorée de la fertilité des sols (gestion de l'humus, lutte contre les pertes de phosphore dues au lessivage). Ces objectifs nécessitent une stratégie cohérente pour l'amélioration de la fertilité des sols et pour la gestion durable des ressources pédologiques.

En ce qui concerne la fertilité phosphorique, le programme de phosphatage de fond qui a été initié en 1997 est une tentative de réponse au problème de carence presque généralisée des sols du Sénégal en phosphore. Ce programme comporte les recommandations suivantes :

- apport de 400 kg/ha de phospal ;
- apport de 400 kg/ha d'un mélange de phosphate tricalcique et de phosphogypse ;
- apport d'une (1) tonne de phosphogypse à l'hectare.

Les produits utilisés varient en fonction des sites.

Comme nous l'avons vu précédemment l'apport de 400 kg/ha de phospal en fumure de fond tous les 4 ans est conforme aux résultats expérimentaux disponibles pour les sols exondés, notamment les sols ferrugineux tropicaux et les sols ferrallitiques. Cette dose qui correspond à un apport d'environ 140 kg P_2O_5 /ha permet en effet de corriger la carence initiale des sols en cet élément. Le concept de phosphatage de fond prend toute sa signification dans de telles conditions. Il en va autrement des sols alluviaux de la vallée du fleuve Sénégal. Un apport de 140 kg P_2O_5 /ha ne modifie pas la fertilité phosphorique de ces sols à très fort pouvoir fixateur (Fardeau et al., 1983). Il faudrait en effet une dose de P_2O_5 sept fois plus élevée pour saturer les sites de fixation du phosphore (phosphatage de fond). Les recommandations de la recherche pour les conditions pédoclimatiques de la vallée alluviale du fleuve Sénégal vont dans le sens d'une compensation des exportations de phosphore (environ 60 kg P_2O_5 /ha) par les cultures.

Qu'en est-il de l'apport de mélange phosphogypse + phosphate tricalcique à raison de 400 kg à l'hectare ?

Les résultats d'analyses de mélange phosphate tricalcique + phosphogypse effectuées par le CIRAD indiquent les teneurs suivantes (Ndiaye, 1999) :

CaO = 40.6 %
 P_2O_5 = 19.12 %

S = 6.79 %

Ainsi un apport de 400 kg/ha de ce mélange correspond à une dose de 76 kg P_2O_5 /ha, 162 kg CaO/ha et 27 kg S/ha. Dans le cas des sols exondés (sols ferrugineux tropicaux, sols ferrallitiques etc...) une dose de 76 kg P_2O_5 /ha ne constitue pas un phosphatage de fond. Il faudrait deux fois plus de phosphore pour corriger la carence initiale de ces sols en cet élément. Par ailleurs, dans le cas des sols alluviaux de la vallée du fleuve Sénégal un apport de 76 kg P_2O_5 /ha ne compense que les exportations des cultures.

Une question légitime que l'on peut se poser est de savoir sur quoi repose la recommandation qui consiste à apporter un mélange de phosphate tricalcique et de phosphogypse à raison de 400 kg/ha ?

Pourquoi ne pas apporter le phosphate tricalcique de Taïba seul à la dose de 400 kg/ha conformément aux résultats expérimentaux disponibles et comme le recommande la Recherche pour corriger la carence initiale des sols exondés ? En effet un apport de 400 kg/ha de phosphate tricalcique de Taïba correspond à peu près à une dose de 150 kg P_2O_5 /ha, quantité nécessaire pour redresser la fertilité phosphorique de ces sols et donc pour se conformer à la philosophie de phosphatage de fond.

Il semble que l'apport du mélange phosphate tricalcique + phosphogypse repose plutôt sur un raisonnement « agronomique » simple : le phosphate tricalcique apporte le phosphore à ces sols carencés en cet élément et le phosphogypse grâce à l'apport de CaO permet de lutter contre l'acidification des sols (Kane, 1999).

Il convient de noter que sur la base des résultats des travaux de recherche (Cissé, 1981) l'on a recommandé sans enfouissement de pailles de céréales la dose de 200 kg/ha de $Ca(OH)_2$, soit 152 kg CaO/ha, tous les 2 ans dans la zone Centre (Thiès, Diourbel) et en Haute Casamance et celle de 100 kg/ha de $Ca(OH)_2$, soit 76 kg CaO/ha tous les deux ans dans la Moyenne Casamance. Pour le Sine Saloum, la dose d'application est d'environ 200 kg/ha de $Ca(OH)_2$, soit 152 kg CaO/ha.

Ainsi la dose de CaO à l'hectare recommandée par la recherche pour une période de 4 ans est de 304 kg pour la zone centre (Thiès, Diourbel), la Haute Casamance et le Sine-Saloum. Cette dose est presque le double de celle qu'apporte une quantité de 400 kg/ha de mélange phosphate tricalcique + phosphogypse (soit 162 kg CaO/ha tous les 4 ans).

Par contre pour la Moyenne Casamance et pour une période de 4 ans, la dose de CaO apportée par ce mélange est à peu près conforme aux recommandations de la recherche. Comme dans le cas de la fumure minérale, il semble qu'il y ait dérive en partie dans l'application des recommandations de la Recherche.

Il y a un certain nombre d'options stratégiques pour améliorer les réserves et gérer les flux de nutriments :

- la recapitalisation d'éléments nutritifs, spécialement le phosphore, grâce à l'utilisation des phosphates naturels ;
- l'utilisation de ressources organiques disponibles localement ;
- l'utilisation de fortes doses d'engrais minéraux ;
- une gestion intégrée de la fertilité du sol qui combine l'utilisation de technologies à faibles intrants externes et de technologies consommatrices de beaucoup d'intrants externes.

Du fait de la complexité des relations entre réserves nutritives et productivité des cultures, la recapitalisation des réserves phosphatées n'est indiquée que dans certaines conditions. En effet, la viabilité de l'opération phosphatage de fond dépend d'un certain nombre de facteurs. La disponibilité de sources de phosphore bon marché et faciles à transporter constitue un facteur déterminant. La qualité du phosphate naturel (solubilité etc..) est également un facteur important de même que la nature du sol et ses caractéristiques physiques et chimiques.

Cependant, malgré son attrait, la recapitalisation a fait l'objet d'un certain nombre de critiques. En effet certains auteurs contestent le raisonnement technique qui sous-tend l'application en une seule fois de doses massives de phosphate naturel, leur préférant des apports répétitifs qui augmentent progressivement et qui, selon eux, se justifieraient mieux sur le plan agronomique et économique (Janssen, 1997 cité par Scoones et Toulmin, 1999). Par ailleurs, pour certains auteurs la viabilité économique d'un tel investissement n'est pas toujours évidente surtout si le phosphate naturel a une faible réactivité ou si les coûts de transport sont très élevés. De plus, la recapitalisation est une opération qui nécessite des subventions comme mesures d'accompagnement. Il faut également noter qu'il peut y avoir des risques environnementaux et sanitaires liés à une utilisation massive de phosphates naturels surtout si leur application s'accompagne d'une production de quantités importantes de poussière. Enfin, une opération de recapitalisation à grande échelle exige des moyens logistiques (transport) énormes et une bonne organisation et si la recapitalisation doit s'accompagner de l'apport de matière organique, alors d'importantes quantités de biomasse doivent être disponibles.

Si la finalité de l'amélioration de la gestion de la fertilité du sol est de contribuer au bien être du monde rural, alors il est possible d'identifier un certain nombre d'axes d'intervention plus ou moins liés aux différentes formes de capital (Carney, 1998) :

- le capital naturel : certaines interventions sont destinées à améliorer l'état biophysique des sols (e.g. phosphatage de fond, utilisation d'intrants chimiques, enrichissement en matière organique) ;
- le capital financier : le crédit et l'épargne sont susceptibles de faciliter l'importation de nutriments et l'investissement dans l'élevage pour la production de fumier ;
- le capital physique : la construction de routes et autres moyens de communication permet d'améliorer l'accès au marché et inciter ainsi les agriculteurs à une bonne gestion de la fertilité du sol ;
- le capital humain : la prise en compte des savoirs et savoir-faire des agriculteurs permet de développer de solides partenariats entre agriculteurs, chercheurs, agents de vulgarisation (conseil agricole) ;
- le capital social : amélioration des capacités organisationnelles des agriculteurs, leurs aptitudes à expérimenter d'autres technologies alternatives, à évaluer les différentes options et à identifier les besoins en matière d'appui par les agences de conseil agricole.

CONCLUSION

La recapitalisation des réserves phosphatées du sol est une condition préalable à une utilisation plus efficace des engrais, à une meilleure productivité et à une plus grande compétitivité. Elle implique des investissements dans la fertilité des sols par le biais de l'utilisation des phosphates naturels comme amendements du sol, plutôt que comme source primaire de phosphore immédiatement disponible. Le phosphatage de fond comme moyen de recapitalisation de la fertilité phosphorique du sol n'est pas une solution « passe-partout ». Il doit tenir compte de la nature du sol, de ses caractéristiques minéralogiques etc. L'amélioration de la productivité dans le cadre d'une agriculture intensive ne peut être optimisée que par le raisonnement agronomique auquel l'augmentation des connaissances scientifiques a donné une existence réelle et un contenu opérationnel. On doit malheureusement reconnaître que trop souvent, on ignore ce raisonnement ou on n'en utilise qu'une partie. Recapitaliser la fertilité du sol, c'est en définitive créer les conditions pour « cultiver en bon père de famille » c'est-à-dire avec la plus grande préoccupation pour ce que les auteurs anglo-saxons appellent « sustainability ».

BIBLIOGRAPHIE

- Bèye, G. 1977.** Dégradation des sols au Sénégal : Situation actuelle et perspectives.
Doc. ISRA
- Boivin, P., Brunet, D., Gascuel, C., Zante, P. et Ndiaye, J.P., 1995.** Les sols argileux de la région de Nianga - Podor : répartition, caractéristiques, aptitudes et risques de dégradation sous irrigation. *In* Nianga : laboratoire de l'agriculture irriguée en moyenne vallée du Sénégal. ORSTOM, Coll. Colloques et Séminaires pp 67-81.
- Bouyer, S. 1971.** Etudes sur la fertilisation phosphatée des sols en Afrique tropicale et Madagascar. *Phosphore et Agriculture* 57: 1-12.
- Carney, D. 1998.** Implementing the sustainable rural livelihoods approach. *In* : Carney, D. (ed) Sustainable rural livelihoods, what contribution can we make ? DFID London.
- Cissé, L. 1981.** Note succincte sur l'acidification des sols sableux exondés du Sénégal : processus et correction. Doc. ISRA.
- Dancette, C. 1974.** Comment adapter les cultures à l'aridité du milieu et améliorer ce milieu (Conférence atelier sur le sahel).
- Diatta, S. et Cissé, L. 1985.** Fertilisation du riz irrigué dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal. Rapport de synthèse. Doc. ISRA
- Dudal, R. 1997.** Projet de cadre de référence du programme SINP de la FAO. *In* : Systèmes intégrés de nutrition des plantes. Dudal, R. et Roy, R.N. (eds), pp 433 – 435.
- Fardeau, 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.
- Gachon, L. 1969.** Les méthodes d'appréciation de la fertilité phosphorique des sols. *Bulletin de l'Association Française de l'Etude du sol* 4 : 17-31.
- Gachon, L. 1977.** Utilité d'un bon niveau de réserves phosphatées du sol. *Phosphore et Agriculture* 70 : 27-23.
- Gachon, L. et Triboi, E. 1982.** Etude des méthodes d'appréciation de la fertilité phosphorique du sol. II. Détermination du phosphore labile du sol. *Ann. Agron.*
- Harmsen, K. 1997.** Gestion intégrée du phosphore : équation modifiée de Mitscherlich permettant de prévoir la réponse au phosphore en aridoculture. *In* : Systèmes intégrés de nutrition des plantes. Dudal, R. et Roy, R.N. (eds) pp. 311-324.
- Janssen, B.H. 1997.** Report on a Mission for the Netherlands Support to KARI in Kenya, Unpublished mimeo. Wageningen Agricultural University, Wageningen.

- Kane, A.** 1999. Restauration de la productivité des sols : Essais démonstrations amendements phosphocalciques et dessalement. Doc. ICS/SENCHIM 17 p.
- Maignien, R.** 1965. Note explicative, carte pédologique du Sénégal au 1/1 000 000. ORSTOM, Centre de Dakar-Hann.
- Ndiaye, J.P.** 1987. Fertilité et fertilisation des sols de rizières dans la vallée du fleuve Sénégal. Doc. ISRA 47 p.
- Ndiaye, J.P.** 1999. Utilisation du phosphogypse dans les sols de la vallée alluviale du fleuve Sénégal. Doc. ISRA 9 p.
- Ndiaye, J.P. et Sagna, I.** 1989. La fertilisation des cultures au Sénégal : Bilan – diagnostic et perspectives. In : Etude de la filière engrais au Sénégal. Volume 2. Ministère du Développement Rural.
- Piéri, C.** 1989. Fertilité des terres de Savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au Sud du Sahara. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT. Paris
- Piéri, C. et Steiner, K.G.** 1997. L'importance de la fertilité du sol pour l'agriculture durable – le cas particulier de l'Afrique. Agriculture + Développement Rural. Volume 4 n° 1 : 23-26.
- Roche, P. et al.** 1978. La carence en phosphore des sols intertropicaux et ses méthodes d'appréciation. Science du Sol, Bulletin de l'Association Française de l'Etude du Sol 4 : 251-268.
- Roche, P. et al.** 1981. Le phosphore dans les sols intertropicaux : appréciation des niveaux de carences et des besoins en phosphore. Paris, Institut Mondial du Phosphate 48 p (Publ. Scient. N° 2).
- Scoones, I. and Toulmin, C.** 1999. Policies for Soil Fertility Management in Africa. A report prepared for the Department for International Development. IDS. IIED.
- Syers, K.** 1997. Contribution des réserves du sol à l'approvisionnement en éléments fertilisants. In : Systèmes intégrés de nutrition des plantes. Duda, R. et Roy, R.N. (eds) pp 257-266.
- Tourte, R., Nicou, R., Charreau, C., Pochtier, G. et Poulain, J.F.** 1968. Lafumure minérale « étalée » au Sénégal. Comparaison avec la fumure annuelle. In : Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive 19-25 Novembre 1967 tome 2 pp 1058-1075 (Paris, IRAT).