

*Meilleurs Vœux de Bonheur
et de Prospérité
pour l'Année 1999.*



INSTITUT MONDIAL DU PHOSPHATE
Institut scientifique, sans but lucratif, non commercial et non gouvernemental.
3 rue Abdelkader Al Mazini, BP 15963 – Code postal 20001 – Casablanca - Maroc
E-mail : imphos@casanet.net.ma - Fax : (212 2) 48 41 21 - Téléphone : (212 2) 48 41 24



IMPHOS

PHOSPHATE NEWSLETTER

Juin - Janvier

Numéros 8 et 9 / 1999

IMPHOS AUJOURD'HUI

Niveaux d'utilisation actuelle et besoins futurs en engrais phosphatés pour une production alimentaire durable dans les pays de l'Europe du Centre et de l'Est

Workshop organisé par l'IMPHOS à Pulawy, POLOGNE du 28 au 30 septembre 1998

En marge du symposium international organisé à Pulawy, Pologne, du 28 au 30 septembre 1998, par le Centre International Scientifique des Engrais Chimiques (CIEC) sur le thème «Codes de bonnes pratiques de fertilisation et fertilisation équilibrée», l'Institut International de la Potasse (IIP) et l'Institut Mondial du Phosphate (IMPHOS)

ont organisé chacun des workshops sur des thèmes spécifiques.

Le workshop organisé par l'IMPHOS qui a porté sur le thème donné ci-dessus comprenait 3 sessions où, dans l'une d'elles, des communications orales ont été présentées et qui a eu lieu le 28 septembre 1998 ; (suite p. 2)

Études de l'effet résiduel des phosphates naturels en application directe à différents types de séquences culturales : cas des sols acides de l'Inde

Il y a actuellement 49 millions d'hectares de sols acides en Inde, dont 25 millions d'hectares avec un pH de moins de 5,5 et 23 millions d'hectares avec un pH entre 5,6 et 6,5. Ces sols souffrent d'une forte carence en phosphore (P), élément nutritif qui constitue un facteur limitant majeur à la production agricole. Ces sols

sont en outre riches en sesquioxydes, leur teneur en humus est faible, et possèdent un fort pouvoir fixateur. Les cultures sur ces sols répondent à l'apport de P, mais uniquement après satisfaction du pouvoir fixateur des sols, ce qui justifie l'application de fortes doses d'engrais phosphatés. (suite p. 5)

SOMMAIRE

IMPHOS AUJOURD'HUI

- «Niveaux d'Utilisation Actuelle et Besoins Futurs en Engrais Phosphatés pour une Production Alimentaire Durable dans les Pays de l'Europe du Centre et de l'Est»
- Études de l'Effet Résiduel des Phosphates Naturels en Application Directe à Différents Types de Séquences Culturales : cas des Sols Acides de l'Inde.
- Fertilisation Phosphatée au BENIN et au TOGO - Analyse des Rendements de la 2ème Année des Essais -
- Pour une Meilleure Utilisation des Engrais en Afrique au Sud du Sahara.

M.T.D./B.P.A.*

- La Fixation et la Libération du Phosphore dans le Sol
- Le Phosphore dans la Nutrition Animale.
- Le Cadmium dans les Sols Agricoles.

FLASH

- L'Emploi du Soufre Élémentaire pour Améliorer la Solubilisation du Cadmium et pour son Exportation des Sols Contaminés.
 - L'Emploi des Engrais Phosphatés pour le Renversement de la Tendance à la Dégradation des Zones de Parcours en Asie de l'Ouest et en Afrique du Nord.
 - Les Effets à Long Terme de l'Application des Engrais Phosphatés, sur les Teneurs en Cadmium des Sols et des Plantes
 - La Productivité Agricole dans les Régions de Savane du Brésil : Les Cerrados.
 - Prochain Workshop Régional de l'IMPHOS. Amman, Jordanie (25-27 Avril 1999)
- Annonce du programme -

MTD : Meilleures technologies disponibles de production d'engrais.
BPA : Bonnes pratiques agricoles de fertilisation.

Représentation
médiatique
de la fertilisation
phosphatée
en Europe dans
les années 50



source : Jean Claude Fardeau et al CEA/Cadarache, (France)

Niveaux d'utilisation actuelle et besoins futurs en engrais phosphatés pour une production alimentaire durable dans les pays de l'Europe du Centre et de l'Est (suite de la p 1)

une session de présentation de posters pendant la période 28-29 septembre 1998 ; et enfin une table ronde IMPHOS/IIP tenue le 30 septembre 1998 au cours de laquelle a été débattue « la promotion des engrais phosphatés et potassiques en Europe du Centre et de l'Est : perspectives à moyen terme ».

Une centaine de participants en provenance essentiellement des pays d'Europe du Centre et de l'Est ont assisté à ces différentes activités.

Les participants au workshop organisé par l'IMPHOS provenaient de la Bulgarie, de la République Tchèque, de la Hongrie, de la Lettonie, de la Lituanie, de la Pologne, de la Roumanie, de la République Slovaque, de la Slovénie, de l'Ukraine et de la Yougoslavie. Ils ont présenté 9 communications orales et 12 posters. Dans les posters, ont été fournis des informations et résultats de recherches sur le thème général de l'utilisation des engrais phosphatés dans la région et leurs effets sur les rendements des cultures et la fertilité des sols au cours des 2 à 4 dernières décennies.

Les participants ont saisi cette occasion pour confronter leurs expériences et partager les informations dont ils disposent sur le thème « codes, de bonnes pratiques de fertilisation et fertilisation équilibrée ».

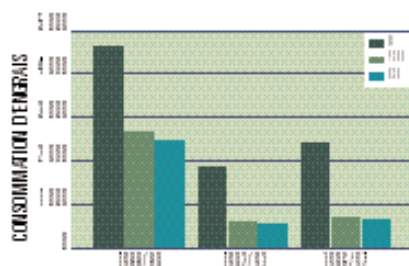
Un document présentant l'ensemble des communications et posters est déjà disponible ; mais les actes seront publiés ultérieurement, en 1999.

Des données et informations présentées et discutées, il en ressort que :

- Les réformes économiques introduites dans les pays d'Europe de l'Est et du Centre ont résulté en une chute très importante des consommations en engrais. En particulier, en 1996/97 les consommations en N ont diminué de 48%, celles en P et en K de 74% chacune par rapport à celles enregistrées en 1988/89 (figure 1).

Dans quelques pays cependant, notamment en Bulgarie, Croatie, Hongrie et Pologne on a noté à partir de 1993/1994 une certaine reprise de la consommation en engrais et les prévisions indiquent qu'à l'horizon 2000 cette reprise permettra

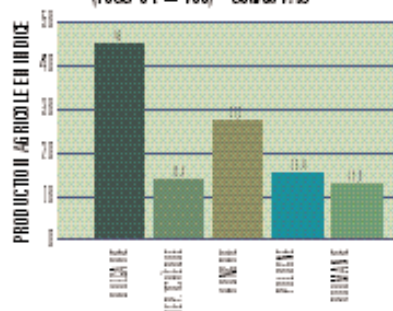
Figure 1 : Consommation des engrais dans les pays d'Europe du centre et l'Est entre 1988/89 et 1996/97 (Source FAO)



à ces pays d'atteindre environ les 60% de leur niveau de consommation en engrais de la fin des années quatre vingt.

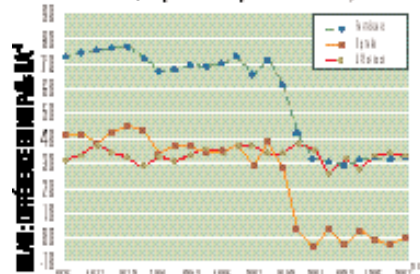
- A partir du début des années 1990, la production agricole a baissé de 13 à 40% dans la plupart des pays de la région (figure 2).

Figure 2 : Taux de la baisse de la production agricole dans quelques pays de la région entre 1989 et 1996 (1989-91 = 100) - Sources FAO -



- Les bilans minéraux négatifs actuellement observés induiront à long terme une baisse très importante du niveau de fertilité des sols cultivés (figure 3).

Figure 3 : Bilans en phosphore (apports par les engrais minéraux, exportations par les récoltes)



- Les services de vulgarisation/d'encadrement sont peu efficaces et peu développés.

Le besoin pressant de prendre des actions visant à arrêter la tendance actuelle à la baisse accélérée du niveau de fertilité des sols, et à

promouvoir une fertilisation équilibrée a été fortement exprimé par les participants à la table ronde IMPHOS/IIP. Ceux-ci ont convenu de collaborer étroitement, à travers un plan d'action commun, pour porter à l'attention des décideurs politiques les informations indiquant clairement que si les tendances et faits ci-dessus rapportés continuent encore pendant quelques années, la fertilité des sols sera fortement dégradée, la productivité des sols et la viabilité de la production agricole seront sévèrement compromises.

Les actions à entreprendre dans le cadre de cette collaboration comprendront, en particulier :

- La préparation d'un mémorandum de 4 à 5 pages dans lequel seront présentées des informations sur le niveau de consommation actuelle en engrais minéraux, le statut général de la fertilité des sols cultivés, les niveaux de production agricole atteints, les conséquences économiques de la situation présente, les bilans minéraux sous culture, toujours négatifs. Assorties à ces informations, des recommandations seront faites pour que des mesures correctives soient prises.

- La présentation dans un document unique de l'ensemble des communications et informations recueillies à Pulawy. Ce recueil sera publié dans les différentes langues de la région.

- La conduite d'essais au niveau de la ferme agricole dans certains pays pour relancer l'intérêt et le bénéfice associés à la pratique de la fertilisation équilibrée. Dans cette optique, seront également réalisées des visites organisées aux champs pour les agriculteurs avec la participation effective des services d'encadrement et de vulgarisation agricole.

- La publication de leaflets en diverses langues de la région pour promouvoir les recommandations en matière d'utilisation des engrais élaborées par les services de recherche et de vulgarisation.

Ces différentes actions, pour atteindre les objectifs poursuivis devraient être entreprises en développant une collaboration étroite entre l'IMPHOS, IIP et les structures de recherche agricole se trouvant dans la région ■

ANNONCE DU PROGRAMME DU PROCHAIN WORKSHOP REGIONAL DE L'IMPHOS

«*Gestion des éléments nutritifs sous systèmes d'irrigation sous pression dans la région méditerranéenne*»
AMMAN, JORDANIE (25-27 AVRIL 1999)

L'Institut Mondial du Phosphate (IMPHOS), en coopération avec la « Jordan Phosphate Mines Company (JPMC) », et le « National Center for Agricultural Research and Technology Transfer (NCARTT) » à Amman (Jordanie), et avec la collaboration de plusieurs organismes internationaux dont l'ICARDA, l'AIEA, la FAO, le CIHEAM... organise un workshop régional sur le thème : Le workshop aura lieu à Amman (Jordanie) du 25 au 27 Avril 1999.

L'objectif de celui-ci est de faire le point sur l'état actuel des connaissances, de dégager les perspectives de développement et d'identifier les priorités de recherche dans le domaine de la fertigation, notamment l'utilisation efficiente des engrais phosphatés en fertigation.

L'atelier se déroulera uniquement en anglais et comprendra les sessions suivantes :

Dimanche 25 Avril 1999 :

Communications inaugurales :

- Fertigation : situation actuelle et perspectives I. Papadopoulos (ARI-Cyprus).
- Fertigation et qualité des engrais utilisés : considérations générales et recommandations G. Hamdallah (FAO, Egypte).
- Les principaux systèmes d'irrigation et leurs potentialités pour la fertigation, M. Nimah (AUB, Lebanon).

➔ Discussion

SESSION 1 : Gestion des ressources hydriques sous systèmes d'irrigation sous pression

- Besoins en eau des cultures : approches et estimations P. Steduto (CIHEAM/IAM-Bari, Italie).
- Utilisation rationnelle de l'eau d'irrigation A. M. Ayman (Ain Shams Univ. Egypte).
- Caractérisations de la qualité de l'eau pour l'irrigation F. Karajch (ICARDA, Syrie).
- Bilan hydrique : termes et calculs A. Fardous (NCARTT, Jordanie).
- Rôle et activités de l'AIEA dans le domaine de la fertigation et de l'irrigation dans la région méditerranéenne P. Moutonnet (AIEA, Autriche).

➔ Discussion

SESSION 2 : Gestion des éléments nutritifs sous systèmes d'irrigation sous pression

- Détermination des besoins des cultures en éléments nutritifs M. M. El Fouly (NRC, Egypte).
- Estimation de la capacité des sols à fournir des éléments nutritifs aux cultures, M. Badraoui (IAV, Hassan II, Maroc).
- Relations sol-plante-éléments nutritifs, M. S. Khatari (Univ. de Jordanie, Jordanie).

➔ Discussion

Lundi 26 Avril, 1999

SESSION 3 : Fertigation et apport d'engrais phosphatés.

- Situation actuelle et exigences futures, J. Ryan (ICARDA, Syrie).
- Comparaison entre fertigation et méthodes conventionnelles d'apports des engrais phosphatés, L. Ristimaki (KEMIRAAGRO, Finlande).
- La fertigation phosphatée chez les agriculteurs, K. Latiri (INGREF, Tunisie).
- La conduite de la fertigation en conditions de sols salés, C. Kirda (Univ. Adana, Turquie).

➔ Discussion

SESSION 4 : Aspects économiques et environnementaux de la fertigation

- Etude de la rentabilité économique de la fertigation (ICARDA, Syrie).
- Les impacts de la fertigation sur la santé et l'environnement, Atef Hamdi (CIHEAM/IAM, Bari, Italie).

Panel :

Utilisation des engrais phosphatés sous systèmes d'irrigation sous pression : besoins futurs en recherche et développement.

SESSION DE POSTERS

Une session de posters sera organisée du 25 au 26 Avril 1999 dans laquelle seront présentés des travaux sur le thème du workshop.

VISITE DE TERRAIN

Une visite d'exploitations agricoles qui pratiquent la fertigation sera organisée le 27 Avril 1999.

INSCRIPTION AU WORKSHOP :

Tous ceux qui veulent assister au workshop régional sont priés de remplir le formulaire d'inscription, joint à ce bulletin, et de l'envoyer au Secrétariat de l'atelier (adresse inscrite sur le formulaire).

L'emploi des engrais phosphatés pour le renversement de la tendance à la dégradation des zones de parcours en Asie de l'Ouest et en Afrique du Nord

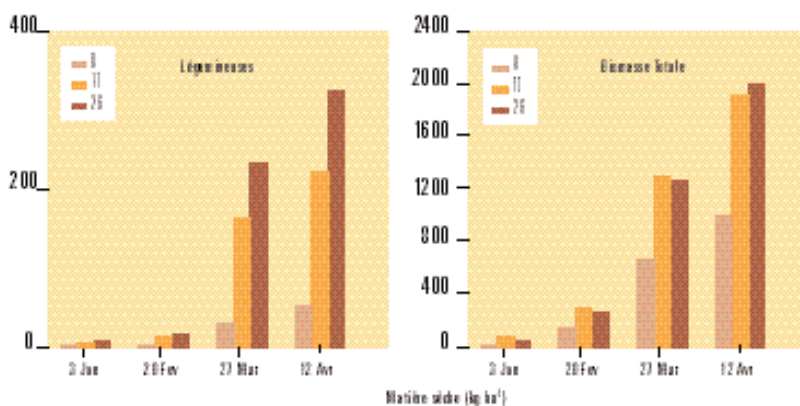
Dans un essai qui a été mis en place en 1984/85 à Tel Hayda au Nord de la Syrie, l'épandage du superphosphate sur des terres non cultivées, considérées comme marginales, parce que ne pouvant être utilisées que comme pâturages, a stimulé la croissance des légumineuses annuelles qui existent naturellement sur ces terres et a réduit la carence azotée de sols, conduisant à une augmentation de la production des graminées.

Les engrais phosphatés apportés annuellement pendant 7 ans (0, 11 et 26 kg P ha⁻¹) ont eu un effet direct sur les valeurs de P-Olsen du sol. Partant d'environ 7 mg de P kg⁻¹ le P-Olsen a atteint à la fin de la septième campagne (Juillet 91) les niveaux de 20 et 40 mg de P kg⁻¹ de sol respectivement pour les doses 11 et 20 kg P ha⁻¹.

L'effet direct de la fertilisation phosphatée s'est manifesté par des rendements plus élevés des légumineuses et des graminées, ainsi que par une meilleure productivité des ovins qui pâturent ces terres.

L'effet résiduel de P, enregistré bien après la ferti-

Figure 1 : Biomasse Cumulée totale et biomasse cumulée des légumineuses montrant les effets résiduels du phosphore en 1995 (Pluviométrie = 312 mm)



sation initiale, est significatif (figure 1).

L'essai montre aussi que le phosphore marque en situation de sécheresse, surtout lorsque celle-ci est très accentuée et suggère de considérer qu'il faudrait plutôt un seuil critique, pour le P assimilable, plus élevé pour les situations à faible régime hydrique.

L'étude a montré clairement les mérites de la fertilisation phosphatée, même à faibles doses, pour la production fourragère sur les terres de parcours.

* Extrait de : Osman A. E. 1997. « Potential Benefits of Phosphorus Fertilizer on Marginal lands », p. 154-161. In Rayan, J. (ed). 1997. *« Accomplishments and Future Challenges in Dryland Soil Fertility in the Mediterranean Area ». Proceeding of the Soil Fertility Workshop, Institut Mondial du Phosphate (IMPHOS) et ICARDA, 19-23 1995, Alep, Syrie. ICARDA, Alep, Syrie, ix+368pp.

La productivité agricole dans les régions de savane du Brésil (Les Cerrados)

La mise en valeur des régions de savane du Brésil (les CERRADOS) a nécessité des études approfondies qui ont abouti à la mise au point d'une technologie de production agricole adaptée à ces régions.

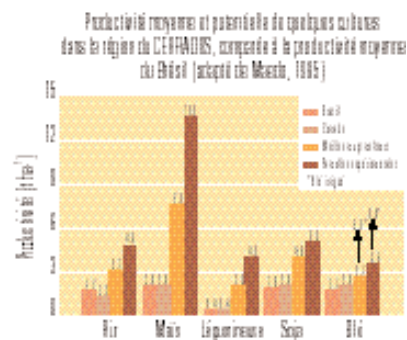
Le volet « Fertilisation phosphatée » de cette technologie a été présenté dans le numéro 7 du bulletin IMPHOS Phosphate Newsletter.

Cette technologie a permis de faire passer les rendements agricoles dans les CERRADOS d'un niveau très faible à celui équivalent à la moyenne obtenue au Brésil. Ainsi, les CERRADOS assurent maintenant une part importante de la production agricole brésilienne s'élevant environ à 28% pour les céréales, 43% pour le soja, 3% pour le blé, 14% pour les fèves, 24% pour le riz, 9% pour la canne à sucre, 21% pour le café, 40% pour la viande et 12% pour le lait.

Cette part déjà importante est certainement

appelée à augmenter car les potentialités des CERRADOS révélées par la correction de la carence en phosphore de ses sols sont assez élevées (voir graphe ci-contre).

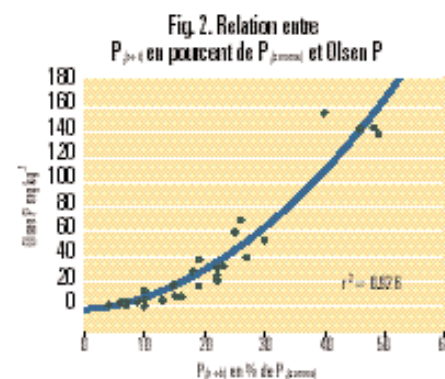
*Alfredo Sheild Lopes, : « The Use of Phosphate rock to build up soil P and increase food productivity in acid soils ; the Brazilian experience », Conférence Internationale pour l'Asie, organisée par l'IMPHOS à Bali, Indonésie en Décembre 1996.



La Rétention et la Libération du Phosphore dans le Sol

(suite de la p.7)

cultures arables et fourragères. Ceci équivaut à un (Pi (r+b)) approximativement de 20% du Pi (somme) (Fig2). Si le (Pi (r+b)) en tant que pourcentage de Pi (somme) indique le degré de saturation en P et si la valeur de 20% peut être mise en relation avec une valeur agronomique appropriée pour le P-Olsen, il devrait être possible, donc, d'utiliser la valeur de ce pourcentage comme indicateur de la limite supérieure à l'enrichissement en P du sol.



Fertilisation phosphatée au Bénin et au Togo

- analyse des rendements de la deuxième année des essais -

Les essais de fertilisation phosphatée mis en place pour 3 années (1996-1998) dans le cadre du projet IMPHOS/SG2000, sont répartis dans les trois zones agroclimatiques du Togo et du Bénin qui correspondent pour les deux pays à la zone de Savane sèche (région du Nord), à la zone de savane humide (région du Centre) et à la zone du littoral (région du Sud).

Les rendements obtenus en 1996 dans les essais de chacune de ces régions ont été analysés dans le bulletin IMPHOS N° 6/1998. L'analyse a porté essentiellement sur les fréquences et les amplitudes des accroissements de rendement constatés par effet de la formule NPK recommandée d'une part et d'autre part, par effet du phosphore, sous forme de TSP, soit seul soit en renforçant la dose du phosphore de la formule NPK recommandée.

En 1997, l'analyse distingue les rendements des essais des régions du nord, dont les parcelles ont reçu, en 1997, la même fertilisation modulée qu'en 1996, de ceux des essais du centre et du sud dont les parcelles ont reçu en 1997, d'une façon uniforme, la formule NPK recommandée ; cette analyse cherche essentiellement à mettre en relief les relations entre les conditions climatiques et la fertilisation et l'effet de la fertilisation de l'année (n-1) sur celle de l'année (n).

I. CAS DES REGIONS DU NORD

La région nord du Bénin a connu, dans la période des essais, des conditions climatiques relativement meilleures en 1997 qu'en 1996, alors qu'en région nord du Togo une forte sécheresse en 1997 a réduit de près de la moitié les niveaux de rendement obtenus en 1996.

* CAS DU BÉNIN

Les accroissements de rendement identifiés au nord du Bénin sont dus à 3 effets : effet «P» seul, effet «NPK» ; et effet renforcement en «P» de NPK, («NPK + P»).

Pour chacun de ces effets, la fréquence des accroissements de rendement constatée en 1997 est similaire à celle obtenue en 1996, mais l'amplitude de ces accroissements est plus accusée en 1997 ; il y a eu une amélioration générale des rendements. Cette amélioration a été plus importante en parcelles T2 (qui ont reçu NPK en 1996 et en 1997) qu'en parcelles T3 (qui n'ont reçu que le P en 1996 et en 1997), elle a été aussi plus importante en parcelles T4 (qui a reçu NPK + P en 1996 et en 1997) qu'en parcelles T2.

* CAS DU TOGO

Au nord du Togo, en raison de la sécheresse, les accroissements de rendement identifiés sont dus à 2 effets seulement : effet «NPK» et effet «NPK+P» ; l'effet «P» seul ne s'est pas manifesté.

- L'effet «NPK» (T2>T1) :

Cet effet a été moins fréquent en 1997 (54%) qu'en 1996 (77%) c.à.d. qu'il y a eu moins de situations où le rendement de la parcelle T2 s'est montré supérieur au témoin T1 (au seuil de signification de 5%), et l'amplitude des accroissements de rendement a été moins accusée.

- L'effet renforcement en «P» de la formule NPK (T4>T2).

Cet effet a été en 1997 aussi fréquent qu'en 1996, mais l'amplitude des accroissements a été comme pour l'autre effet, moins accusée qu'en 1996.

En somme, dans la région nord du Bénin, les rendements de 1997 ont été plus élevés que ceux de 1996 et les accroissements de rendement montrent en T4 (NPK+P) un effet «phosphore». Celui-ci, rétablissant l'équilibre de la formule NPK. Dans la région nord du Togo, la sécheresse a pénalisé les parcelles T3 qui n'ont reçu que du «P» mais l'effet «phosphore» se retrouve dans le bon rendement des parcelles T4, dans les conditions difficiles que cette région a connues cette année.

Cet effet «phosphore» apparaît mieux en exprimant la moyenne des rendements des différents traitements T4, T2 et T3, obtenus en 1996 et 1997, en pour-cent de celle des témoins T1 et ce tant au Togo (cas de sécheresse) qu'au Bénin (cas de bonnes conditions climatiques). Voir graphes 1 et 2.

On notera au Togo la baisse importante (-13%) en T2 du rendement relatif moyen alors qu'en T4 la baisse n'est que de -1% et on notera au Bénin le gain important (+12%) de rendement relatif moyen en T4 en 1997 alors qu'en T2 et en T3 il y a eu même une baisse (de -5%) et (-4%) respectivement.

II. CAS DES REGIONS DU CENTRE ET DU SUD

Le tableau 1 établi pour le Togo et le Bénin, donne les fréquences des accroissements de rendement (au seuil de 5%), lesquelles sont en général plus élevées en T4 qu'en T3. On notera

l'importance des non réponses notamment au Togo en raison de la sécheresse essentielle. Le graphe 3 donne les productivités du Kg de NPK utilisé en 1997 exprimées en Kg de grains sur des parcelles qui ont reçu en 1996 une fertilisation modulée : du «P» seul (parcelles T3), du NPK (parcelles T2) et le NPK + P (parcelles T4). (suite p. 4)

Moyenne des rendements des différents traitements exprimés en% de celle des témoins (T1)

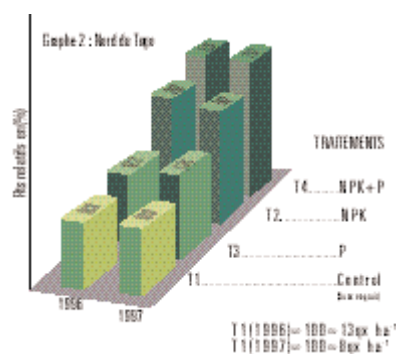
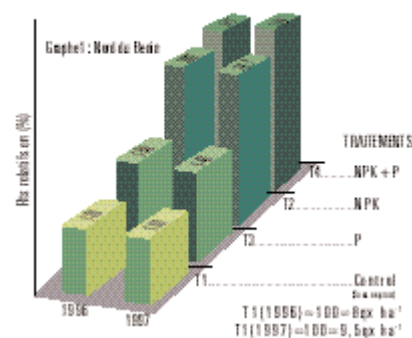
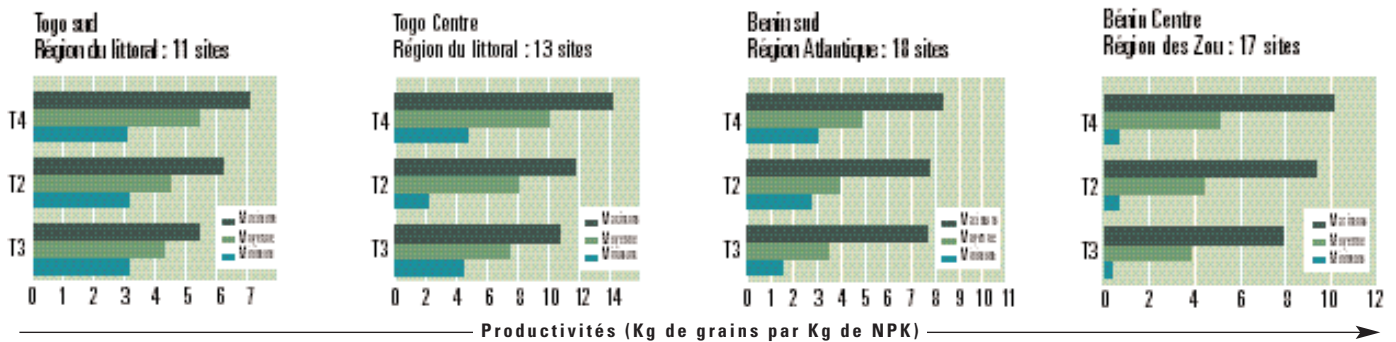


Tableau 1 : Fréquence des réponses à l'apport de NPK en 1997 en fonction de la région et de la fertilisation reçue en 1996

		Parcelles et fertilisations de 1996		
		Parcelles T3 P seul	Parcelles T2 NPK	Parcelles T4 NPK + P
Région du centre	TOGO	71 %	69 %	69 %
	BENIN	82 %	94 %	100 %
Région du sud	TOGO	55 %	55 %	80 %
	BENIN	94 %	94 %	94 %

Graph 3 : Productivités du Kg de NPK appliqué en 1997



Les parcelles T4 ont donné en 1997 les productivités les plus élevées du Kg de NPK, viennent ensuite les parcelles T2 puis les parcelles T3. Ce graphe montre aussi la relation entre la fertilisation reçue en 1996 (axe des ordonnées) et les niveaux de productivité (axe des abscisses) d'une part et d'autre part, pour chaque parcelle, il montre l'amplitude de la variabilité de ces productivités.

En résumé, les résultats de 1997, présentés dans cet article concernent pour le cas des régions du nord, l'effet cumulé des différents types d'engrais apportés dans deux situations climatiques qu'on peut qualifier l'une de mauvaise (au Togo) l'autre de bonne (au Bénin). Dans l'une et l'autre situation le phosphore a eu en général un effet positif, en équilibrant la formule NPK. Ils concernent aussi, pour le cas des régions du centre et du sud, l'effet de NPK, apporté en 1997, sur des parcelles ayant reçu en 1996 une fertilisation modulée. Sur ces parcelles, la productivité du Kg de NPK a été plus élevée dans les parcelles qui ont reçu en 1996 le NPK recommandé dont la composante «P» a été renforcée (NPK + P) ■

Pour une meilleure utilisation des engrais en Afrique au Sud du Sahara

La Conférence Régionale de l'IFA pour l'Afrique, tenue à Maputo-Mozambique en juin 1998, a été l'occasion pour des organisations scientifiques et techniques de présenter leurs contributions techniques au sujet des voies et moyens pour parvenir à la sécurité alimentaire en Afrique. Deux initiatives dans ce sens, présentées lors de cette conférence, paraissent particulièrement intéressantes.

La première est exposée par E.C.A Runge⁽¹⁾ ; elle consiste en un test en Afrique d'une méthode utilisée aux USA, il y a 50 ans. Il s'agit de hiérarchiser les éléments nutritifs limitants, dans une région donnée, et donc de proposer, pour cette région, un ordre précis dans la mise en œuvre des solutions possibles. Si cet ordre n'est pas suivi, le résultat peut être faible, voire négatif.

La seconde est exposée par Swed et Kello⁽¹⁾, elle consiste en un test d'une méthode participative dans la recherche de ces facteurs limitants. Cette seconde initiative teste, en même temps, une démarche conçue pour montrer que les engrais peuvent être utilisés par les petits agriculteurs sans passer par la subvention, les dons ou le crédit.

L'intérêt de ces initiatives est de s'attaquer à l'épineux problème de la variabilité du terrain quant à la réponse aux engrais recommandés.

Il paraît utile de préciser brièvement, dans ce qui suit, l'amplitude de cette variabilité et les conséquences de celle-ci sur l'emploi des engrais, et en dernière analyse, sur la sécurité alimentaire, à la lumière des premiers résultats du projet IMPHOS/SG2000 sur la fertilisation phosphatée (A. Benjelloun) (2)

Ce projet teste, au Togo et au Bénin, sur un ensemble de 150 sites, trois formules d'engrais : le phosphore seul « P », le « NPK » recommandé et le « NPK + P ».

Le calcul des rendements moyens des essais, comme si tous les champs appartenaient à un seul agriculteur, fait apparaître un bilan positif de l'emploi de « NPK » recommandé. Cette formule donne 2 à 2,5 fois le rendement du témoin sans engrais, le « NPK + P » donne jusqu'à 3 fois et le « P » seul donne 1,2 à 1,5 fois. Par contre quand il s'agit de faire ce bilan, site par site, c.à.d. par agriculteur, la grande variabilité du terrain quant à la réponse aux engrais recommandés pose un sérieux problème car, vue les politiques agricoles actuelles qui privilégient la vérité des prix, la condition de base pour susciter l'achat des engrais est remplie pour les agriculteurs qui se trouvent du côté des rendements acceptables, mais, elle n'est pas remplie pour les autres agriculteurs qui se trouvent du côté

des rendements faibles à moyens et qui sont malheureusement beaucoup plus nombreux.

Les accroissements de rendement constatés, traduisent, pour la majorité des cas, les conséquences des pratiques de l'agriculture minière notamment celles de la baisse des teneurs des sols en matière organique et en éléments fertilisants qui a rendu inadaptées, à des degrés divers, les recommandations d'antan en matière de fertilisation.

L'augmentation de rendement est une nécessité. Elle doit, selon les prévisions de la FAO, entrer pour une grande part dans l'augmentation de la production agricole attendue en vue d'assurer la sécurité alimentaire. Cependant, dans l'environnement économique actuel la réalisation de cette augmentation de rendement doit obligatoirement s'accompagner d'un résultat financier positif pour l'agriculteur. Il est à rappeler dans ce sens, comme l'a fait. Ray Huyen (2) dans son exposé, que parmi les facteurs qui déterminent le gain (ou la perte) de l'agriculteur dans son activité agricole, le rendement reste le facteur sur lequel il peut agir directement et espérer, en retour, une bonne récolte ; les autres facteurs (coût de production et prix de vente) échappent à son influence directe.

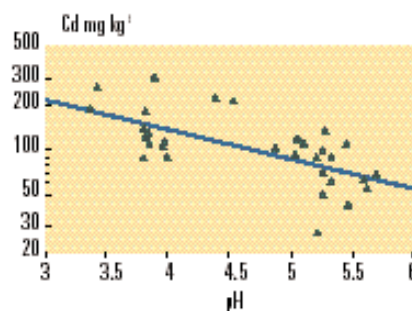
(suite p. 5)

L'emploi du soufre élémentaire pour améliorer la solubilisation du cadmium et son exportation des sols contaminés*

Le pH du sol est le premier facteur qui contrôle à la fois la solubilisation du cadmium dans les sols, et son prélèvement par les plantes. L'acidification du sol par le soufre issue de l'activité microbienne, en comparaison avec celle produite par la fleur de soufre orthorhombique disponible sur le marché, se réalise sans retard et à des vitesses bien supérieures. Cette acidification peut être utilisée comme méthode de traitement préalable en vue de la décontamination de sols pollués, dans la mesure où une technique efficace de prélèvement de cadmium de la solution du sol par une plante est mise au point.

Cette technique pourrait impliquer la percolation forcée de la solution du sol suivie d'un traitement adaptée comme une récupération électronique. Elle pourrait impliquer aussi l'absorption végétale. Dans une étude conduite en République Tchèque sur l'évolution de la solubilisation et le prélèvement du cadmium par la biomasse, il a été démontré que la concentration du cadmium dans les plantes (partie supérieure) augmente quand le pH diminue (cf. graphique). Toutefois, la biomasse a été affectée négativement par la chute du pH. En tenant compte de ces deux effets combinés, il a été établi que le pH optimal pour un prélèvement maximal du cad-

mium du sol par les plantes se situe entre 5 et 5,5. A ce pH, la concentration du cadmium dans la biomasse



la concentration du cadmium (mg Cd/kg matière sèche) dans la partie aérienne de la moutarde commune, en fonction du pH du sol

était de 50 à 150 mg kg⁻¹. C'est une forte concentration qui dépasse la plupart des normes légales permettant une utilisation de la biomasse, que ce soit pour un compostage ou pour un conditionnement en fourrage. C'est la raison pour laquelle cette technique ne sera utile que si un traitement adapté pour le prélèvement du cadmium de la biomasse puisse être trouvé. ■

* Extrait d'un article de R. Tichy, J. Fajtl, S. Kuzel et L. Kolar. 1997 : « Use of Elemental Sulphur to Enhance Cadmium Solubilization and its Vegetative Removal from Contaminated Soil in Nutrient Cycling in Agrosystems ». Kluwer Academic Publisher, 46 : 249-255

Les effets à long terme de l'application d'engrais phosphatés sur les teneurs en cadmium des sols et des plantes

Les effets de doses croissantes d'engrais phosphatés, apportées sous forme de superphosphate simple, sur les teneurs en Cd des sols et des plantes ont été mesurés sur un essai au champ mis en place en 1968. Cet essai a été implanté au sud ouest de l'Angleterre, avec une culture continue d'orge. Les quantités de Cd ajoutées au sol ont été estimées en supposant que la teneur moyenne en Cd des engrais utilisés était de 170 mg Cd kg⁻¹ de P. Ainsi, sur les 29 années de fertilisation, ses quantités de Cd apportées sont d'environ 0,48 ; 97 et 193g Cd ha⁻¹, respectivement pour les doses d'engrais phosphatés appliquées : 0 ; 9,3 ; 19,6 et 39,2 kg de P ha⁻¹ an⁻¹. En 1996, la teneur en Cd dans chacun des niveaux suivants du profil du sol (0-20 ; 20-25 ; 25-30 ; 30-35 ; 35-40 ; 40-45 et 45-50 cm), a été mesurée et ce pour chaque dose utilisée.

La différence entre traitements était significative (P<0.05) en ce qui concerne le Cd extrait à l'EDTA de la couche 40-45 cm du sol. Dans cette couche, la teneur en Cd de la parcelle témoin (0,11 mg Cd kg⁻¹ de

sol) était supérieure à celles des autres traitements. Elles varient de 0,07 et 0,08 mg Cd kg⁻¹ de sol. A part le cas de cette couche, les différences entre traitements n'étaient pas significatives en ce qui

concerne le Cd extrait à l'EDTA (tableau 1).

Les teneurs en Cadmium des grains et dans la paille ont été mesurées en 1996. Les teneurs moyennes se situent entre 0,10 mg Cd kg⁻¹ de matière sèche (MS) pour les grains et à 0,07 mg Cd kg⁻¹ de MS pour les pailles. Aucune différence significative entre les traitements n'a pu être décelée (tableau 2).

Tableau 1 : Les teneurs des sols en cadmium, exprimées en mg Cd kg⁻¹ de sol sec. Les particules de plus de 4 mm sont exclues (Novembre 1996).

Doses de P (Kg P ha ⁻¹ an ⁻¹)	Horizons du sol (cm)						
	0-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50
	Cd total (extrait à l'acide nitrique)						
0	1.36	1.25	1.27	1.34	1.23	1.26	1.25
9.8	1.27	1.28	1.25	1.27	1.16	1.37	1.29
19.6	1.36	1.31	1.20	1.27	1.32	1.09	1.15
39.2	1.41	1.26	1.23	1.23	1.24	1.14	1.06
S.E. par parcelle (D.F. = 12)	0.139	1.187	0.130	0.127	0.161	0.206	0.283
Moyenne	1.35	1.28	1.24	1.28	1.24	1.22	1.19
	Cd assimilable (extrait à l'EDTA)						
0	0.22	0.18	0.16	0.13	0.13	0.11	0.07
9.8	0.23	0.17	0.13	0.14	0.10	0.08	0.05
19.6	0.23	0.22	0.16	0.14	0.11	0.08	0.09
39.2	0.23	0.29	0.16	0.14	0.10	0.07	0.07
S.E. par parcelle (D. F. = 12)	0.024	0.028	0.037	0.031	0.026	0.019	0.036
Moyenne	0.23	0.20	0.15	0.14	0.11	0.08	0.07

Tableau 2 : Les teneurs en Cadmium des grains et des pailles (orge - récolte de 1996). en mg Cd kg⁻¹ MS

Dose de P (kg P ha ⁻¹ an ⁻¹)	Grains	Paille
0	0.11	0.07
9.3	0.09	0.08
19.6	0.13	0.06
39.2	0.09	0.08
S.E. Par parcelle (DF = 12)	0.087	0.029
Moyenne	0.10	0.07

Par conséquent, ces résultats ne montrent pas d'enrichissement en Cadmium du sol ou de la culture, après 29 ans d'apport d'engrais phosphatés. ■

*Extrait du « Journal of Agriculture Science », Cambridge (1998), 131, 187-195 : I. R. RICHARDS, C. J. CLAYTON and A. J. K. REEVE.

Le phosphore dans la nutrition animale

On estime actuellement à 2 millions de tonnes équivalent P₂O₅ la consommation mondiale en phosphore utilisé dans la supplémentation animale. Cette supplémentation consiste dans la pratique actuelle à rajouter du phosphore dans les rations quotidiennes sous forme d'additifs contenant l'élément P. Ces additifs sont généralement des sels d'orthophosphates, les sels de pyro et de métaphosphates étant beaucoup moins assimilables et donc moins utilisés. Les sels d'orthophosphates peuvent être classés en trois catégories :

- ➔ les phosphates primaires : ex. Na H₂ PO₄, Ca (H₂ PO₄)₂
- ➔ les phosphates secondaires : ex. Na₂ HPO₄, Ca H PO₄
- ➔ les phosphates tertiaires : ex. Na₃ PO₄, Ca₃ (PO₄)₂

Les phosphates primaires sont facilement solubles dans l'eau, les phosphates secondaires le sont moins tandis que les phosphates tertiaires sont pratiquement insolubles.

L'efficacité des orthophosphates dans la supplémentation décroît, en fonction du cation associé à l'anion phosphaté, dans l'ordre suivant : Na, Ca, K et Mg.

Parmi les matériaux de base utilisés pour la supplémentation en phosphore figure le phosphate naturel (phosphate tricalcique). Le phosphate naturel est traité avec l'acide chlorhydrique ou sulfurique pour donner lieu à un mélange de phosphate mono-di et tricalcique. Il existe une autre voie qui consiste à traiter thermiquement le phosphate broyé en présence, de carbonate de sodium pour obtenir un mélange de phosphate tricalcique et de phosphates de Na et K.

L'assimilabilité du phosphore par les animaux dépend de plusieurs facteurs notamment :

① La composition chimique de la supplémentation :

En raison des interactions entre les différents constituants de la supplémentation, l'absorption du phosphore est très influencée notamment par les éléments métalliques tels que le cuivre ou le zinc. La présence du fluor peut même être toxique et le taux en cet élément ne doit pas dépasser 0,1% généralement. L'utilisation simultanée d'autres additifs avec les produits phosphatés peut également influencer l'assimilabilité du phosphore. Ainsi l'utilisation de la bentonite a été essayée dans la nutrition avicole.

② La solubilité :

Une bonne solubilité citrique ou dans une solution de citrate d'ammonium alcalin est importante et conditionne l'assimilabilité du phosphore. La solubilité dans ces substances doit être supérieure à 95% pour que la supplémentation soit digérable.

③ Le pH d'une solution aqueuse contenant le produit phosphaté :

Le pH de la solution est important du point de vue nutritionnel parce qu'il affecte le goût de l'aliment et peut même influencer la stabilité des autres ingrédients tels que les vitamines.

④ La taille des granules :

Elle influence la valeur biologique de l'additif. Ainsi il a été constaté expérimentalement que les volailles assimilent mieux un additif sous forme de granules de 2 mm que lorsqu'il est sous forme de poudre.

⑤ Technologie de fabrication :

La valeur biologique de l'additif phosphoré dépend fortement de son mode de fabrication. ■

Source : Article de J. BOKORI. 1992 : « Requirements of phosphorus in animal nutrition » : actes de la 4ème Conférence internationale de l'IMPHOS, 8-11 Septembre 1992/Gand (Belgique).

8

Le cadmium dans les sols agricoles

Avec l'apparition des préoccupations environnementales au début des années 80, le cadmium a été au centre de plusieurs débats et sujet à de nombreuses études quant à ses sources et ses origines, sa présence dans le milieu naturel, ses éventuels effets sur la santé humaine ainsi que les moyens capables de l'isoler et d'éviter son passage dans la chaîne alimentaire. Ce sujet a été repris par Cultivar (revue mensuelle française) dans un récent article*, dont voici quelques extraits :

① Teneurs Naturelles :

Le cadmium se trouve naturellement dans les sols à des teneurs différentes en fonction de leur origine. Ces teneurs varient de 0,05 à 0,45 mg kg⁻¹ de terre dans les sols dits « ordinaires » jusqu'à 2 à 7 mg kg⁻¹ dans les sols qualifiés d'anomalies naturelles.

② Apports Anthropogènes :

Une étude de l'INRA-France de Quimper réalisée en 1990 a permis de déterminer l'origine des apports en cadmium dans les sols agricoles et de les répartir comme suit :

- ➔ Déchets agricoles : 20%.

- ➔ Déchets urbains : 38%.

- ➔ Retombées atmosphériques : 40%.

- ➔ Engrais : 2%.

Dans le cadre de cette étude, les chercheurs ont constaté une accumulation régulière des métaux lourds dans les sols et se sont posés la question du devenir de ces métaux. Leurs études sur le ray grass montrent que celui-ci n'a prélevé que 1% des métaux lourds apportés par une simulation de 100 ans d'apport de lisier et qu'il n'y a pas eu de baisse de rendement de cette culture.

Ces chercheurs en déduisent que même si aucune

action correctrice n'est entreprise le risque de toxicité ne se manifesterait que dans un à deux siècles.

③ Absorption du Cadmium par les Plantes :

Il existe des crucifères sauvages capables de prélever une quantité importante de cadmium. C'est le cas du tabouret des champs (*Thlapsi sp*) qui se développe dans les régions tempérées. En présence d'une contamination diffuse, l'utilisation de cette plante permet d'enlever une fraction importante de cadmium. Le tout est de mieux maîtriser la culture de ces plantes et d'étudier de plus près leur rendement en terme de prélèvement de cadmium. ■

*Cultivar (supplément mensuel au n° 438 du 16 Mars 1998) intitulé : « Métaux Lourds : le Sol est-il menacé ? » pp.20-23

Réduction du taux de Cadmium dans l'acide phosphorique

Depuis 1992, l'IMPHOS a entrepris avec l'appui financier de l'Union Européenne d'identifier et de mettre au point un procédé de décadmiage de l'acide phosphorique à l'échelle industrielle. Basé sur le procédé CERPHOS (Groupe OCP, Maroc), un programme de recherches et de développement a été ainsi élaboré. Ce programme comporte deux phases dont la première vise à effectuer les travaux de recherches nécessaires à la définition d'une unité pilote semi-industrielle. Cette phase a été achevée en 1995 (Cf. article paru dans IMPHOS PHOSPHATE NEWSLETTER n° 1-Février-Mai 1996). Les résultats acquis au cours de cette première phase permettent d'envisager la poursuite de la 2ème phase qui permettra de définir les données techniques et économiques pour la faisabilité d'une unité industrielle.

Pour une meilleure utilisation des engrais en Afrique au Sud du Sahara *(suite de la p 4)*

Il faut donc permettre à l'agriculteur d'agir efficacement sur le rendement et, ce faisant, de renverser la tendance à la dégradation des sols et de contribuer à réduire le coût de la sécurité alimentaire. Ce coût sera d'autant plus faible que la quantité moyenne de grains produite par kg d'engrais, est plus élevée.

A propos du coût de la sécurité alimentaire, en termes de dépenses en engrais, K.G. Soh(2) a présenté, dans son exposé introductif, les résultats d'une étude qui montre que

l'Inde est largement autosuffisant avec un investissement en engrais de moins de 6 USD par habitant et que la Chine avec le double de cet investissement produit presque deux fois plus de grains. En Afrique, à quelques exceptions près, les dépenses en engrais par habitant est bien en deçà du niveau de 5 USD, elles sont, le plus souvent de moins de 1 USD par habitant, et K.G. Soh de conclure que la sécurité alimentaire en Afrique pourrait être atteinte dans une décennie, si l'on

assurait un investissement en engrais d'au moins 5 USD par habitant.

En conclusion, les deux initiatives citées plus haut méritent une attention particulière de la part des responsables du développement agricole parce que les questions pour lesquelles elles cherchent des réponses, notamment celles qui se rapportent à l'efficacité des engrais, et donc celles qui touchent le revenu de l'agriculteur, sont susceptibles de mener à la sécurité alimentaire ■

(1) Références des exposés relatifs aux deux initiatives citées

- Exposé de E.C.A. Runge et al 1998, donné sous le titre : «Developing a hierarchy for enhancing crop yields in the Semi-Arid and Savanna areas of West Africa». (Texas A & M University USA)
- Exposé de P.D. Sewered and D.O Kello 1998, donné sous le titre : « Methods to develop an infrastructure for supply of the appropriate fertilizers for use by small farmers in sub-Saharan Africa, experience from Western Kenya ». (P. D. Seward : Centre for Plant Nutrition and Environmental Research (CP.NER), GERMANY ; D. Okelly : Sustainable Community-Oriented Development Programme (SCODP), KENYA).

2) Références des autres exposés cités : A. Benjelloun, 1998, preliminary findings from fertilization trials in Togo and Benin - IMPHOS/SG2000 project, IMPHOS, MAROC. Ray Hoyum, 1998, use of Sul-Po-HAG as a source of Sulphur, Potassium and magnesium in Sub-Saharan Africa, Global IMC., USA. K. G. Soh, 1998, Agriculture and Fertilizer Use in the 90's. A decade of significant transformation, IFA, FRANCE.

N.B. Les contributions présentées lors de cette conférence peuvent être demandées directement à l'IFA

(International Fertilizer Industry Association)

28, Rue Marbeuf 75008 - Paris - France. Fax (33) 1 53 93 05 45

Études de l'effet résiduel des phosphates naturels en application directe à différents types de séquences culturales : cas des sols acides de l'Inde *(suite de la p 1)*

Les phosphates naturels peuvent servir à enrichir le sol en phosphore à un prix de revient à l'unité beaucoup moins élevé que celui de l'unité des « P » provenant des engrais conventionnels, solubles eau. Ils peuvent être à la base d'une production agricole accrue sur sols acides notamment.

L'objectif de ces études est de préciser l'effet résiduel de ces phosphates naturels, en tant que source de P, sur le rendement de différentes séquences culturales conduites en sols acides représentant 3 régions agro-climatiques de l'Inde. Les régions sont représentées par un site au Bihar sur un sol

rouge limoneux (pH = 6.0), un site en Himachal Pradesh, sur sol acide montagneux (pH=5.7) et un site en Orissa sur un sol latéritique (pH = 5.8).

Les traitements consistent en quatre phosphates naturels (Gafsa - (Tunisie), Djebel Onk, (Algérie), Youssoufia - (Maroc) et Mussoorie - (Inde)), et en deux doses appliquées entièrement au démarrage de la culture, à raison de 250 et 500 kg P2O5ha⁻¹. L'effet résiduel de ces apports est étudié pour neuf (9) séquences de cultures, comparé au traitement avec une dose de 50 kg P2O5ha⁻¹ de DAP ou SSP et au témoin. Le dispositif expérimental utilisé est

un bloc aléatoire en trois répétitions

Sur une rotation soja - blé sur un sol rouge limoneux, les phosphates de Gafsa et de Youssoufia ont montré, à des doses de 500 kg P2O5 ha⁻¹ appliquées au soja, une valeur résiduelle significative sur le rendement de la culture suivante le blé (6ème culture). Cet effet, était égal ou supérieur à celui du DAP appliqué à une dose de 50kg P2O5 ha⁻¹ avant chaque culture. D'autre part, les phosphates de Djebel Onk ont donné les meilleurs rendements de maïs et de blé sur une séquence culturale maïs-blé en sol acide montagneux.

(suite p 6)

Études de l'effet résiduel des phosphates naturels en application directe à différents types de séquences culturales : cas des sols acides de l'Inde *(suite de la p 5)*

L'effet résiduel de Phosphate sur le rendement était nettement plus important à forte dose de P (500 kg P205 ha⁻¹), qu'à faible dose (250 kg P205 ha⁻¹).

Tableau 1.

Tableau 1. Rendement en grains et prélèvement du phosphore par le soja et le blé sur sol «Rouge limoneux acide»

Sources de P <i>(R.P.: phosphate naturel)</i>	Traitements doses (kg P205 ha ⁻¹)	Soja 5 ^{ème} culture (t ha ⁻¹)	Blé 6 ^{ème} culture (t ha ⁻¹)	Prélèvement de P (kg ha ⁻¹) Moyenne de six cultures	Augmentation (en %)
Djebel Onk R. P.	250	2.72	2.52	5.59	19.2
Djebel Onk R. P.	500	2.83	2.68	5.85	24.7
Gafsa R. P.	250	2.83	2.64	5.73	22.2
Gafsa R. P.	500	3.07	3.04	6.10	30.0
Yousseoufia R. P.	250	2.55	2.68	5.57	18.8
Yousseoufia R. P.	500	2.79	3.16	6.26	33.5
Mussoorie R. P.	250	2.70	2.10	5.19	10.7
Mussoorie R. P.	500	2.80	2.62	5.69	21.3
DAP	50	2.93	3.10	6.30	34.3
Témoin	0	2.40	2.26	4.69	-
C. D. at 5%		0.26	0.38		

Le renforcement de la dose de phosphates, passant de 250 à 500 kg P205 ha⁻¹, a eu un effet positif, sauf pour le phosphate de Mussoorie. A titre d'exemple, le rendement de riz, dans une séquence riz-arachide sur sol lateritique, a été augmenté suite à l'application directe de P à la culture du riz, et suite à l'effet résiduel sur l'arachide de cet apport direct en une seule fois, de phosphate naturel. L'effet directe et résiduel de Djebel Onk ont donné lieu au plus fort rendement de riz et d'arachide. Les changements dans le statut de P assimilable du sol sont tributaires de l'effet résiduel de l'épandage des phosphates naturels. Tableau 2.

Tableau 2. Rendement de riz et d'arachide suite à l'apport de phosphate naturel et les variations du statut en P disponible sur sol lateritique

Traitements	Riz 5 ^{ème} culture (t ha ⁻¹)	Arachide 6 ^{ème} culture		P disponible dans les sols après 3 années	
		Gousses	Graines (t ha ⁻¹)	Riz (kg P ha ⁻¹)	Arachide
A) Témoin/ DAP					
Témoin	3.0	1.15	0.78	9.3	9.5
DAP	3.39	1.50	1.04	17.3	22.6
CD (0.05)	0.09	0.10	0.07	4.15	4.42
B) DAP vs. RPs					
DAP	3.19	1.32	0.91	13.3	16.1
RPs	3.45	1.44	1	19.8	22.4
CD (0.05)	0.05	0.05	0.04	3.3	2.47
C) RP sources					
Yousseoufia RP	3.42	1.36	0.96	19.7	22.3
Gafsa RP	3.45	1.52	1.06	19.7	23.3
Mussoorie RP	3.41	1.41	0.98	23.1	23.4
Djebel Onk	3.51	1.44	1	16.7	20.7
CD (0.05)	0.06	0.07	0.05	2.93	NS
D) P dose (kg P205/ha)					
250	3.38	1.43	0.99	18.4	20.4
500	3.51	1.45	1.01	21.2	24.4
CD (0.05)	0.04	NS	NS	2.08	2.2

Le coefficient d'efficacité agronomique relative (EAR) de toutes ces formes de phosphore, calculé pour les deux cultures de riz et d'arachide, est donné au tableau 3. ■

Tableau 3. L'efficacité agronomique relative (E.A.R.) des sources de phosphates sur riz et arachide après 5 et 6 cultures sur sol lateritique

Sources de P	Traitements Dose kg P205 ha ⁻¹	(EAR %) sur la base du prélèvement de « P »	
		Riz (5 ^{ème} culture)	Arachide (6 ^{ème} culture)
DAP	50	100	100
Yousseoufia R.P.	250	89	81
Yousseoufia R.P.	500	119	96
Gafsa R.P.	250	100	117
Gafsa R.P.	500	126	144
Mussoorie R.P.	250	91	86
Mussoorie R.P.	500	109	107
Djebel Onk R.P.	250	86	93
Djebel Onk R.P.	500	132	123

Source : G.DEV, A.K. Sarkar, P.K. Sharma, et S.K. Sahu : Extrait d'un poster présenté au 16ème Congrès Mondial de Science du Sol. - Montpellier - 20-26 Août, 1998.

La rétention et la libération du phosphore dans le sol

L. Blake et A. E. Johnston

Soil Department, IARC - Rothamsted, Harpenden, Herts. AL5 2JQ, Royaume Uni.

Le devenir du phosphore appliqué au sol et non entièrement utilisé par la culture à laquelle il a été apporté (le P résiduel), revêt un grand intérêt. Pendant des années, ce P résiduel, était considéré comme « fixé » dans le sol sous des formes qui ne sont pas disponibles pour les cultures qui suivent. Des études plus récentes indiquent que dans plusieurs sols la fixation irréversible n'a pas lieu. Sur ces sols, le P résiduel des apports d'engrais phosphatés s'accumule pour constituer la réserve du sol en P, réserve qui est, au moins partiellement, disponible pour les cultures suivantes. Plusieurs expériences ont mis en évidence le fait que les sols disposant de ces réserves phosphatées donnent des rendements supérieurs à ceux des sols qui en sont dépourvus, et ce même quand on applique à ces derniers de fortes doses de P. Ceci est dû probablement au fait que les réserves accumulées en P sont réparties de manière uniforme dans toute la couche supérieure du sol où le système racinaire en se développant entre en contact avec ces réserves. Toutefois, l'enrichissement excessif des sols en P peut entraîner des coûts non justifiés pour l'agriculteur, et il se peut, sous certaines conditions, qu'il y ait des pertes accrues de P vers les eaux de surface ou souterraines, principalement par l'effet de l'érosion du sol et peut-être par le lessivage. Ainsi, en relation avec le concept de la saturation en « P » des sols, le degré souhaitable d'enrichissement en P des sols est capitale à connaître.

Afin d'estimer le P du sol disponible pour les plantes, de nombreux réactifs sont actuellement utilisés pour extraire le P immédiatement soluble du sol qui est exprimée en mg de P kg⁻¹ sol ou en kg P ha⁻¹ si le poids de la couche de sol échantillonnée est connu. Si l'on fait deux prélèvements d'échantillons de sol de la même façon, mais à deux périodes séparées par un certain nombre d'années, on peut mettre dans ces conditions en relation le P immédiatement disponible et le bilan du sol en P (Apports en P moins exportations) aussi bien dans le cas de bilans positifs que négatifs. Mais dans tous les cas, le changement intervenu dans le P facilement disponible ne constitue qu'une petite proportion du bilan phosphaté. Par exemple, à Rothamsted, dans les sols à pH proche de la neutralité, l'augmentation du P Olsen représente seulement 13% de celle du phosphore total du sol.

Grâce au soutien de l'IMPHOS en 1994, il a été possible d'élaborer une méthode d'extraction séquentielle du P du sol. Cette méthode a été utilisée pour mesurer les effets des traitements effectués sur les fractions phosphatées du sol dans le cadre d'essais de longues durées.

Les réactifs utilisés sont les suivants :

- (1) résine anionique - cationique mixte (P-résine),
- (2) NaHCO₃ 0.5 M et à pH 8,5 (P-bicarbonate),
- (3) NaOH, 0.1M, (4) NaOH, 1.0 M, (5) H₂SO₄, 0.5 M, (6) HCl chaud et concentré, (7) Combustion totale du résidu organique du sol à 540°C suivie de l'extraction à l'acide H₂SO₄, 0.5 M, pour déterminer le taux de P organique très stable, et, (8) fusion du résidu final en présence de Na₂CO₃ afin de déterminer le taux de P in-

organique résiduel inextractible aux réactifs chimiques.

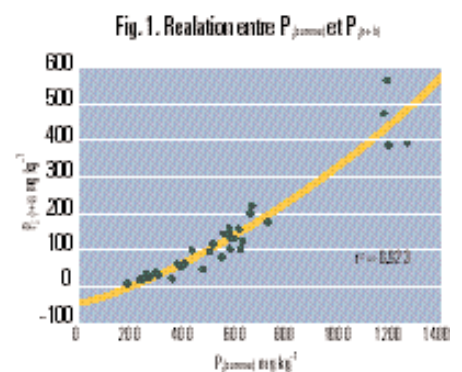
La résine n'extrait que le P inorganique (Pi), mais le P organique (Po) et le P inorganique (Pi) peuvent être déterminés tous les deux sur les extraits obtenus avec le bicarbonate, NaOH 0.1 et 1.0 M et HCl chaud et concentré (Po est estimé par différence entre P total (Pt) et P inorganique Pi). En dépit du fait que le même réactif est utilisé, la fraction P-bicarbonate, déterminée par cette analyse séquentielle, n'est pas la même que le P-Olsen déterminé en analyse de routine. Le P Olsen n'est qu'une partie du P qui peut être prélevé du sol par une extraction répétée à l'aide de NaHCO₃ 0.5 M à pH 8,5. Le P-Olsen, déterminé en analyse de routine, fait partie du P extrait par la résine dans cette analyse séquentielle.

En utilisant les réactifs-dessus, des extractions séquentielles ont été faites sur des sols argilo-limoneux (Rothamsted), sablonneux (Woburn) et argilo-sableux (Saxmundham) dont les bilans en P sont connus sur une période de plusieurs années d'expérimentations. Sur tous ces sols, la fraction du phosphore extraite par chacun des 5 premiers réactifs utilisés a changé au cours du temps suite aux traitements appliqués. Ces fractions augmentent en période d'accroissement des réserves en P du sol résultant des apports de P soit sous forme d'engrais minéraux ou de fumier, et elles diminuent suite aux exportations des cultures conduites sans apports d'engrais phosphatés.

Dans chacune des fractions de P extraites le Pi a changé beaucoup plus que le Po, même sur des sols

ayant reçu du fumier. Ceci est probablement dû au fait que 60-70% du P total dans le fumier se trouve sous forme de P inorganique. Le phosphore ajouté s'est distribué entre les cinq fractions, très rapidement.

Le P-résine et le P-bicarbonate (Pi (r+b)) sont probablement les fractions de P qui peuvent passer immédiatement à la solution de sol pour remplacer le P prélevé par les racines de la culture. Pour les sols étudiés on a mis en évidence une relation entre la fraction (Pi (r+b)) et le Pi total (Pi (somme)) (Fig. 1).



Cette relation curvilinéaire montre que si le Pi s'accumule, le (Pi (r+b)) devient une composante importante de Pi (somme). Ainsi un accroissement du pourcentage du (Pi (r+b)) par rapport à Pi (somme) pourrait servir d'indicateur de la saturation croissante du sol en P.

Le P Olsen peut être mis en relation avec le (Pi (r+b)) exprimé en pourcent de Pi (somme) (fig.2). Encore une fois, la relation est curvilinéaire. Pour les sols étudiés, un P-Olsen de 25mg kg⁻¹ serait suffisant pour atteindre des rendements optimaux pour la plupart des cultures arables et fourragères. (suite p 10)