

# Valorisation des phosphates naturels pour un usage agricole en Chine

*La Chine abrite 22 % de la population mondiale tandis que ses terres arables ne représentent que 7 % de la superficie cultivable au monde. Les principales cultures, et en particulier le riz irrigué qui fournit l'aliment de base, demandent une fumure importante pour produire de façon optimale. Depuis 1987, le Cirad a été sollicité pour valoriser les gisements chinois de phosphates naturels. Aujourd'hui, deux usines de transformation exploitent ces gisements dans la province du Yunnan et fabriquent des engrais phosphatés efficaces.*

La Chine est pratiquement autosuffisante pour les engrais azotés, alors que 95 % des engrais potassiques doivent être importés (XIE *et al.*, 1998). La figure 1 montre les consommations d'azote (N), d'acide phosphorique ( $P_2O_5$ ) et de potasse ( $K_2O$ ) en Chine au cours des dernières années (Fao, 1996). La Chine possède aussi des réserves de phosphates naturels très importantes et se situe au 4<sup>e</sup> rang mondial, mais beaucoup de ces phosphates ont une faible réactivité (CHESSON, 1988).

Dans les années 60, la capacité de production de phosphates solubles à partir des phosphates naturels étant très limitée en Chine, les phosphates naturels ont été employés en application directe après broyage.

Les réponses ont été très faibles sur la majorité des sols et des cultures et cette méthode d'application a été abandonnée. Depuis, plusieurs types d'engrais phosphatés sont fabriqués : phosphate brut broyé pour les sols acides, phosphate fondu et phosphate super-simple par attaque sulfurique.

Au milieu des années 80, la Chine consommait environ 3 millions de tonnes de  $P_2O_5$  et en produisait 2,4 millions de tonnes (figure 2). La production était fournie par environ 500 petites unités de 10 000 à 100 000 tonnes de capacité et se caractérisait par une forte proportion de produits à faible teneur en  $P_2O_5$  : le super phosphate simple à 21 % de  $P_2O_5$  (SSP) et le phosphate fondu à 17 % en moyenne

de  $P_2O_5$ . Ces deux types d'engrais représentaient alors 95 % du total des engrais phosphatés produits.

La Chine a décidé à cette période de lancer la production d'engrais ayant des titres élevés en  $P_2O_5$ , comme le superphosphate triple (TSP) avec 46 % de  $P_2O_5$  ou le phosphate diammonique (18-46-0, DAP). Cependant, pour préparer de tels produits de façon économiquement viable, les phosphates naturels de départ doivent être riches en phosphore (teneur supérieure à 25 % de  $P_2O_5$ ) et pauvres en silice, en fer et en aluminium. Or, la plupart des phosphates naturels des gisements chinois ne possèdent pas de telles caractéristiques. Il est donc nécessaire de conserver les

D. MONTANGE et B. TRUONG

Cirad-ca, programme écosystèmes cultivés, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France  
denis.montange@cirad.fr

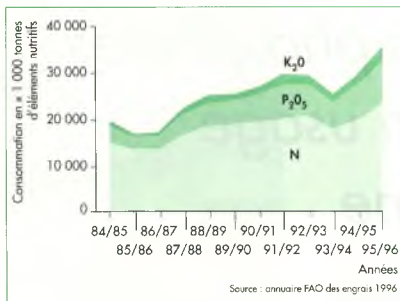


Figure 1. Consommation d'engrais en Chine (x 1 000 tonnes d'éléments nutritifs) de 1984 à 1996.

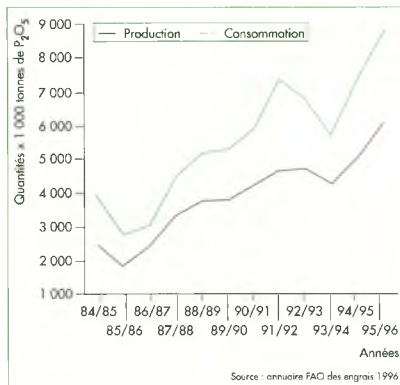


Figure 2. Engrais phosphatés en Chine. Production et consommation de 1984 à 1996.

phosphates naturels les plus riches pour la fabrication d'engrais phosphatés à fort titre et de valoriser au mieux les phosphates de moins bonne qualité en produisant des engrais à titre intermédiaire.

En 1987, le Cirad a effectué une mission d'inventaire des gisements et des usines de transformation (TRUONG et FAYARD,

1987). Sur les nombreux gisements inventoriés, seul le gisement de Kaiyang dans la province de Guizhou contenait des phosphates naturels pouvant être utilisés pour la fabrication d'engrais phosphatés solubles à fort titre (> 40 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). La Chine était cependant intéressée par la valorisation des gisements de

phosphate naturel ayant des titres en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> inférieurs à 25 %. Afin de limiter les coûts énergétiques ainsi que la consommation d'acide de ces transformations, le Cirad a proposé de fabriquer des phosphates partiellement solubilisés avec des titres intermédiaires (25 à 30 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Des conventions ont été signées avec l'Institut de science du sol de

l'Academia sinica de Nanjing (Issas), et la Commission provinciale pour les sciences et technologies du Yunnan, en vue d'effectuer des études sur la valorisation des phosphates naturels par attaque incomplète. Les formules d'engrais fabriquées selon les recommandations ont été testées en conditions contrôlées à Montpellier.

## Formes de phosphore utilisables en agriculture

- P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : unité employée par les industriels et les utilisateurs d'engrais ; c'est celle qui est indiquée dans les formules des engrais complexes NPK. 1 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 2,29 P.
- PN : phosphate naturel. Teneur et réactivité variables selon l'origine. Pour qu'un PN soit considéré comme un engrais en application directe, la norme européenne exige que 55 % du P contenu dans le PN soit soluble dans l'acide formique à 2 %.
- SSP : phosphate super simple (16 à 24 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, généralement 18 %), résulte d'une attaque à l'acide sulfurique sur le PN et contient du soufre. Un minimum de 90 % du P est soluble dans l'eau.
- TSP : phosphate super triple (38 à 48 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, généralement 46 %), résulte d'une attaque à l'acide phosphorique sur le PN. Un minimum de 90 % du P est soluble dans l'eau.
- MAP : phosphate Mono Ammonique : 11 N - 48 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 0 K<sub>2</sub>O (acide phosphorique + NH<sub>3</sub>).
- DAP : phosphate Di Ammonique : 18 N - 46 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 0 K<sub>2</sub>O (acide phosphorique + NH<sub>3</sub>).
- USP : urée super phosphate : la teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dépend du PN de départ, généralement 20 N - 10 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 0 K<sub>2</sub>O, résulte d'une attaque sulfo-urée sur le PN.
- PNPA ou PNPS : phosphate naturel partiellement acidifié (solubilisé). Le chiffre indiqué précise le pourcentage d'acidulation par rapport à un SSP. La teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et la solubilité dépendent des PN de départ et des acidulations réalisées.
- Phosphate fondu ou thermophosphate (ex : Phospal du Sénégal) : pourcentage de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> variant selon le PN de départ. La fusion du PN avec du charbon entraîne une meilleure solubilité du P.
- Scories phosphatées (ex : Scories Thomas) : elles proviennent de la déphosphoration de la fonte lors de la production d'acier. Elles contiennent de 12 à 20 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. En dessous de 12 %, les produits sont considérés comme des amendements calciques phosphatés sidérurgiques.
- Phosphogypse : sous-produit de la fabrication de l'acide phosphorique à partir du PN et qui contient une faible proportion de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

## Caractérisation des phosphates naturels

Les phosphates naturels diffèrent par leur origine (magmatique, sédimentaire ou guano), les types les plus répandus en Chine étant les sédimentaires. Un phosphate naturel se caractérise par sa richesse en  $P_2O_5$ , sa réactivité et ses composants — utiles ou non — autres que le phosphore, en particulier le calcium, le magnésium, les oligo-éléments et les métaux lourds (tableau 1).

La disponibilité du phosphore contenu dans un phosphate naturel apporté dans un sol dépend principalement de sa réactivité (solubilité, finesse de mouture, surface spécifique) et des conditions pédo-climatiques, en particulier l'aci-

dité et l'humidité du sol. De plus, certaines plantes absorbent plus facilement que d'autres le phosphore du sol ou des engrais, et ce, dans les mêmes conditions de sol. Cela peut s'expliquer en partie par la présence de phosphatases excrétées par les racines ou par la possibilité d'une association avec des mycorhizes.

Un phosphate naturel réactif peut être utilisé en application directe dans la plupart des sols acides avec une bonne efficacité. Un phosphate naturel moyennement réactif ne montrera un effet sur la nutrition des plantes que lorsqu'il est appliqué dans des sols très acides. Un phosphate naturel peu réactif ne donnera que très rarement des résultats positifs en application directe.

Cependant, certains sols ont une très forte capacité de fixation du phosphore et une partie plus ou moins

importante du phosphore soluble libéré par les engrais pourrait être bloquée, surtout si les engrais sont apportés avant le semis de la culture, quand l'absorption racinaire est inexistante. Il est donc nécessaire dans ce type de sol, d'envisager une fertilisation phosphatée associant phosphore soluble et phosphate naturel afin d'éviter le blocage total du phosphore soluble et donc la carence des cultures en cet élément. En effet, le phosphore du phosphate naturel est libéré graduellement et il est ensuite absorbé par les racines et fixé par le sol. Une telle fertilisation pourrait être envisagée, utilisant des phosphates naturels partiellement solubilisés qui contiennent, lors de l'application au champ, du phosphore soluble et du phosphore non encore solubilisé qui se libère au cours de la croissance des plantes.

ge, lavage ou flottation. Un enrichissement peut aussi être obtenu par compactage de certains minerais. Ce compactage réalise une fragilisation du phosphate naturel en jouant sur les différences de résistance des composants du minerai : les phases tendres sont écrasées et des fissures sont générées en bordure des grains, fissures dues à l'élasticité différente des composants lorsque la pression se relâche. Ce compactage est suivi de tamisages humides qui permettent de séparer les fractions granulométriques. Cette fragilisation améliore le rendement des transformations chimiques de préparation des engrais, comme les attaques acides (TRUONG *et al.*, 1992).

### Méthodes chimiques

Plusieurs techniques peuvent être appliquées afin d'améliorer la réactivité des phosphates (BAUDET *et al.*, 1986), en particulier l'attaque du phosphate naturel par acidification. Il existe plusieurs techniques d'acidification :

– l'acidification par acide sulfurique donne du phosphate super simple (SSP) titrant 18 % de  $P_2O_5$ . Quand l'attaque sulfurique du phosphate naturel est menée jusqu'au bout, on obtient de l'acide orthophosphorique et du sulfate de calcium (appelé phosphogypse dans ce cas). L'acide phosphorique peut être utilisé pour la production d'engrais binaires ou ternaires ;

– l'attaque du phosphate naturel avec de l'acide phosphorique donne du phosphate super triple (TSP) titrant 46 % de  $P_2O_5$  ;

## Amélioration de la qualité et de la disponibilité du phosphore des phosphates naturels

### Méthodes physiques

La teneur en  $P_2O_5$  des phosphates naturels peut être augmentée par élimination de certaines gangues après dépolvérisa-

Tableau 1. Phosphates du Yunnan : composition chimique (en % du minerai) et solubilités des produits bruts (en % du  $P_2O_5$  total).

Caractéristiques	Gisements	
	Kunyang	Jinning
$P_2O_5$ %	26,3	20,4
CaO %	35,8	27,1
SiO <sub>2</sub> %	28,8	36,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	0,99	2,65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	0,96	1,40
MgO %	0,21	1,17
K <sub>2</sub> O %	0,31	0,81
Na <sub>2</sub> O %	0,18	0,10
MnO %	0,06	0,16
Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)	3,70	1,22
Solubilités (% du $P_2O_5$ total) :		
eau	0,10	0,11
citrate neutre	7,2	6,8
acide citrique 2%	23,7	23,1
acide formique 2%	29,8	25,2

– d'autres attaques dites complexes faisant agir sur le phosphate naturel un mélange d'acides ou d'acides et d'autres produits comme le phosphate mono-ammonique (MAP). Par exemple, l'attaque des phosphates naturels avec un mélange d'acide sulfurique et d'urée donne un engrais appelé urée superphosphate (20-10-0).

Les résultats de ces attaques varient en fonction de la composition chimique et minéralogique des phosphates naturels, de la finesse de broyage, du mode de mélange. Des études sont donc nécessaires chaque fois qu'un gisement nouveau de phosphate naturel (ou qu'une nouvelle couche d'un gisement déjà exploité) doit être mis en exploitation.

Cependant, dans certains cas, il n'est pas nécessaire de solubiliser complètement le phosphate naturel : selon sa composition, la gangue du minerai peut bloquer une grande partie de l'acide apporté pour donner des sous-produits inutilisables pour la nutrition des cultures. Il est donc parfois possible d'économiser de l'acide et de l'énergie en effectuant une attaque partielle du phosphate naturel. Ces attaques partielles sont caractérisées par le nom de l'acide (ou du mélange d'acides) suivi d'un nombre qui est le pourcentage d'acide utilisé ; 100 représente la quantité d'acide nécessaire pour obtenir une solubilisation totale des phosphates contenus dans le minerai (tableau 2).

Il est indispensable, pour chacun des produits obtenus

après ces transformations, de vérifier la part soluble du  $P_2O_5$  total contenu dans le phosphate partiellement solubilisé et son adéquation à la nutrition des plantes dans les conditions pédo-climatiques envisagées de la culture (tableau 3).

### Tests des produits obtenus

Afin de vérifier l'adéquation des produits obtenus avec les besoins des cultures, les phosphates naturels enrichis ou partiellement solubilisés (PNPS) sont testés dans des essais de comparaison avec des phosphates solubles (SSP ou TSP) et les phosphates naturels de départ, en pots en conditions contrôlées puis au champ.

Afin de pouvoir être comparés plus facilement, les résultats des traitements « phosphates naturels plus ou moins solubilisés » sont traduits en coefficient d'efficacité relative (par rapport à un témoin commun n'ayant pas reçu de phosphate). Le coefficient d'efficacité relative est égal au ratio : Augmentation de production due au produit à tester / Augmentation de production due au SSP (ou TSP).

On peut de même comparer, avec un calcul identique, l'amélioration de la nutrition phosphatée induite par les augmentations d'absorption ou d'exportation de phosphore par les plantes en présence de deux engrais phosphatés différents et d'un témoin

sans phosphate ajouté. Ces rapports peuvent être calculés pour des tests en pots ou au champ et quelles que soient les conditions pédo-climatiques pourvu qu'elles soient identiques entre les parcelles de tests.

## Valorisation des gisements chinois de phosphates naturels

Une stratégie en matière d'utilisation des ressources locales en phosphate naturel a été tout d'abord

Tableau 2. Attaques simples ou complexes des deux phosphates naturels bruts du Yunnan. Titres des acides employés (%), quantités de produits ajoutées (kg pour 100 kg de phosphates bruts).

Référence du traitement	Acide d'attaque	Titre (%)	Quantités de réactifs pour 100 kg de phosphate naturel	
			Kunyang	Jinning
Sulf -30	sulfurique	48,5	27,2	24,0
Sulf -60	sulfurique	65,3	40,3	35,6
Phos -30	phosphorique	35,0	28,8	25,4
Phos -60	phosphorique	45,0	44,9	39,6
Phos -30 - S	phosphorique	35,0	28,8	25,4
Soufre			4,0	4,0
Phos - 60 - S	phosphorique	45,0	44,9	39,6
Soufre			6,0	6,0
Sulf - Phos - 30	sulfurique	48,5	13,6	12,0
	phosphorique	35,0	14,4	12,7
Sulf - Phos - 60	sulfurique	35,6	20,1	17,7
	phosphorique	45,0	22,5	19,9
Sulf - Nitr - 30	sulfurique	48,5	13,6	12,0
	nitrique	56,0	7,6	6,7
Complexe 1	sulfurique	50,0	21,0	18,5
MAP			11,0	9,7
Complexe 2	sulfurique	50,0	21,0	18,5
MAP			16,6	14,7
Complexe 3	sulfurique	50,0	21,0	18,5
MAP			11,0	9,7
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> %			5,6	4,9
Complexe 4	sulfurique	50,0	21,0	18,5
MAP			16,6	14,6
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> %			3,6	3,2



Gisement de phosphates naturels de Kunyang (Yunnan). Formation sédimentaire de type pré-cambrien ancien compacté.

Cliché B. Truong

définie à partir de la visite de nombreux gisements que le gouvernement chinois se proposait de valoriser pour leur intérêt économique, leur disponibilité ou la facilité à utiliser le produit brut.

### Caractérisation des phosphates naturels

Afin de limiter les coûts énergétiques ainsi que la consommation d'acide sulfurique, l'atelier pilote de l'entreprise Technifert (bureau d'études partenaire du Cirad pour les techniques de transformation des phosphates naturels) a fabriqué des phosphates partiellement solubilisés avec des titres intermédiaires (25 à 30 % de  $P_2O_5$ ) à partir de phosphate naturel de moyenne qualité des gisements de la province du Yunnan. De nombreux phosphates naturels ont

Tableau 3. Phosphates du Yunnan. Teneur en  $P_2O_5$  total et solubilités (% du  $P_2O_5$  total) des phosphates naturels bruts et partiellement solubilisés (traitements identiques à ceux indiqués dans le tableau 2).

Traitements	$P_2O_5$ total % du phosphate naturel	Solubilité en % du $P_2O_5$ total, extraction de 2 heures			
		Eau	Citrate neutre	Acide citrique 2 %	Acide formique 2 %
<b>Kunyang</b>					
Brut < 160 $\mu$	26,3	0,10	7,2	23,7	29,8
Sulf - 30	22,2	21,3	28,0	44,2	36,6
Sulf - 60	18,8	27,9	60,9	69,2	62,0
Phos - 30	34,8	49,7	55,7	60,1	56,4
Phos - 60	40,0	73,2	78,7	76,7	75,9
Sulf Phos 30	29,8	38,5	43,7	53,0	46,3
Sulf Phos 60	31,4	67,0	71,2	72,0	67,8
Sulf Nitr 30	22,6	13,5	18,0	37,3	33,0
Complexe MAP 1	24,2	29,7	36,2	52,0	43,6
Complexe MAP 3	23,5	32,7	35,7	54,0	43,5
<b>Jinning</b>					
Brut < 160 $\mu$	20,4	0,11	6,80	23,1	25,3
Sulf - 30	19,1	16,7	21,2	40,9	34,5
Sulf - 60	16,9	34,8	42,8	63,4	45,0
Phos - 30	31,1	43,1	51,6	61,0	53,5
Phos - 60	34,9	72,1	81,8	81,2	76,5
Sulf Phos 30	25,3	33,4	37,3	53,5	46,1
Sulf Phos 60	28,4	59,1	64,6	72,2	63,8
Sulf Nitr 30	19,3	10,7	16,1	37,2	31,9
Complexe MAP 1	21,4	25,0	31,2	51,2	40,6
Complexe MAP 3	20,2	29,8	33,8	54,4	46,1

alors été caractérisés afin de préparer des formules qui ont été testées au laboratoire et en serre au Cirad. Les deux tonnes de phosphates naturels traitées proviennent des gisements de Kunyang, mine exploitée dont le minerai alimente de nombreuses usines d'engrais, et de Jinning pour ses caractéristiques chimiques et minéralogiques rendant son traitement plus difficile par les méthodes classiques. Ce gisement, en effet, a des réserves très importantes, mais son phosphate naturel a une faible teneur en  $P_2O_5$  et une forte concentration en silice.

Des échantillons de phosphate naturel non transformé sont ensuite caractérisés : analyse des éléments chimiques principaux et mesure des solubilités du phosphate dans les réactifs habituels (eau, citrate neutre, acide citrique et acide formique). Selon les normes européennes, les phosphates naturels pouvant être utilisés en application directe doivent avoir une teneur en phosphate soluble dans l'acide formique supérieure à 55 % ; les deux phosphates bruts ne sont donc pas assez réactifs pour une application directe (tableau 1).

### Tests de transformation et caractérisation des produits obtenus

Au cours des tests de transformation, les phosphates naturels bruts sont attaqués par un ou plusieurs acides : attaques simples (acide sulfu-

rique, acide phosphorique) ou complexes (acide sulfurique + acide nitrique, acide sulfurique + acide phosphorique, acide sulfurique + phosphate mono-ammonique, acide sulfurique + phosphate mono-ammonique + sulfate d'ammoniaque). Les essais d'attaques mettent en jeu ces produits en quantités différentes mais aussi à des concentrations plus ou moins élevées, et dans des conditions d'agitation variables, adaptées aux composantes chimiques et minéralogiques de chaque phosphate naturel. Le tableau 2 donne des indications sur les réactifs testés pour les attaques dans cette étude.

Les teneurs en  $P_2O_5$  et les solubilités du phosphore contenu dans les différents produits obtenus après ces attaques sont ensuite mesurées (tableau 3). Ces résultats montrent que les différentes attaques ont amélioré la solubilité des deux phosphates naturels dans tous les cas, ce qui permet d'envisager l'usage des produits partiellement solubilisés dans la plupart des conditions de culture. Il est cependant nécessaire de choisir les formules les plus attractives, c'est-à-dire celles qui présentent la plus grande solubilité du phosphore avec un coût de production abordable. Pour les deux phosphates bruts retenus, les solubilités maximales (72 à 73 % de phosphore soluble dans l'eau) sont obtenues avec les attaques phosphoriques. Mais l'acide phosphorique est coûteux en Chine et il n'est donc pas économique de choisir ce type d'attaque. Afin de tenir compte de ces impératifs financiers, les pro-

duits obtenus après une attaque sulfurique (28 à 35 % de phosphore soluble dans l'eau), une attaque sulfonitrique (11 à 14 % de phosphore soluble dans l'eau) et une attaque complexe à l'acide sulfurique + phosphate mono-ammonique (30 à 33 % de phosphore soluble dans l'eau) ont été choisis pour être testés en comparaison avec un phosphate soluble (super triple ou super simple) et les phosphates naturels bruts de départ.

### Tests agronomiques des produits de transformation

#### Tests en pots

Les effets des différents produits obtenus sont évalués sur la croissance (hauteur des plantes et production de matière sèche) et le pré-

lèvement de phosphore d'une variété de riz (IRAT 170, sélectionnée pour sa tolérance à l'aluminium). Ils sont comparés en vases de végétation, en conditions contrôlées au Cirad. Ces essais ont été réalisés sur des sols provenant de Chine : Yujiang (province de Jiangxi) et Jinhua (province de Zhejiang). Ces sols sont acides ( $pH_{eau}$  inférieur ou égal à 5), avec une teneur élevée en aluminium et une carence en phosphore (tableau 4). Les résultats ont montré les tendances suivantes (tableau 5) :

– le phosphate de Kunyang donne des augmentations de production plus importantes que celui de Jinning, confirmant ainsi sa meilleure adaptation pour une utilisation agricole comme l'indiquait déjà sa solubilité plus élevée dans les réactifs standards ;

Tableau 4. Caractéristiques des deux sols utilisés pour les tests des phosphates naturels bruts ou partiellement solubilisés.

Caractéristiques	Sol de Yujiang (Jiangxi)	Sol de Jinhua (Zhejiang)
<b>Granulométrie</b>		
Argile %	47,2	32,7
Limons %	31,3	32,7
Sables %	21,5	34,6
<b>Matière organique %</b>		
Carbone %	0,34	0,39
Azote total	0,36	0,37
<b>Phosphore</b>		
Total mg/kg	260	215
Organique mg/kg	85	44
Olsen Dabin mg/kg	8	10
<b>Complexe absorbant cobalthexamine</b>		
Ca (cmol(+)/kg)	0,35	1,05
Mg	0,28	0,17
K	0,2	0,05
Na	0,03	0,01
Al	10,99	2,55
H	0,31	0,17
CEC	11,04	4,88
Taux de saturation %	7,8	26,2
pH eau	4,95	4,60
pH KCl	3,70	3,65

– les attaques partielles améliorent les productions obtenues avec les phosphates naturels de Jinning et de Kunyang dans les conditions de sol moins acide de Jinhua. Cependant, sur le sol très acide de Yujiang, déficient en phosphore, le phosphate naturel de Kunyang est efficace, même sans acidification partielle ;  
 – les engrais phosphatés obtenus par attaque sulfonitrique donnent des productions faibles par rapport aux autres phosphates partiellement solubilisés.

Ces résultats sont conformes aux faibles solubilités mesurées pour les produits partiellement solubilisés obtenus avec cette attaque (tableau 3) ;

– les meilleurs résultats sont obtenus avec les produits résultant de l'attaque complexe acide sulfurique + phosphate mono-ammonique, qui dépassent souvent le phosphate super triple.

Un essai d'incubation de sols, en conditions contrôlées avec diverses sources

de phosphore, a montré, après six semaines, que ces différents produits ont eu des effets bénéfiques notables sur les caractéristiques des deux sols : phosphore assimilable, calcium et aluminium échangeables. Sur les deux derniers critères, les phosphates bruts et partiellement solubilisés ont donné des résultats plus marqués que le phosphate super triple (tableau 6).

Les apports de calcium expliquent en partie les

meilleurs résultats obtenus avec les phosphates naturels par rapport au phosphate super triple. En effet, le calcium apporté par le phosphate naturel ne joue pas seulement un rôle dans la régulation du pH du sol ou dans la diminution de la toxicité aluminique, mais aussi un rôle dans la nutrition de la plante. Dans les sols amendés avec les phosphates naturels, la teneur en calcium augmente dans une proportion plus importante que lorsque l'on emploie

Tableau 5. Influence des différents phosphates naturels bruts, partiellement ou entièrement solubilisés sur la croissance du riz IRAT 170, sur des sols de Yujiang et Jinhua. Résultats des essais en pots. (Apport de 100 mg de P par kg de sol).

Traitements	Sol de Yujiang		Sol de Jinhua	
	Matière sèche (mg/pot)	Prélèvement de phosphore (µg P/pot)	Matière sèche (mg/pot)	Prélèvement de phosphore (µg P/pot)
Témoin sans P	53 a	163 a	79 a	127 a
TSP	112 b	322 c	215 b	381 c
Kunyang Brut	193 cd	390 d	120 ab	220 b
K. Sulf 30	155 c	310 c	178 b	387 c
K. Sulf Nitr 30	138 bc	172 a	203 b	363 c
K. Complexe 1	154 c	454 e	368 d	480 d
Jinning Brut	55 a	190 a	68 a	120 a
J. Sulf 30	322 e	330 c	81 a	162 a
J. Sulf Nitr 30	272 d	277 b	265 c	225 b
J. Complexe 1	273 d	371 d	242 c	281 bc
Coef. de var. %	12	18	16	21

Dans chaque colonne, les résultats affectés de la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Duncan à 5 %.

Tableau 6. Effet des différents phosphates naturels bruts, partiellement ou entièrement solubilisés, sur certaines caractéristiques des sols, après 6 semaines d'incubation, avec un apport de 100 mg de P/kg de sol.

Traitements	Sol de Yujiang			Sol de Jinhua		
	P assimilable Olsen Dabin mg P/kg	Ca échang. (cmol+/kg)	Al échang. (cmol+/kg)	P assimilable Olsen Dabin mg P/kg	Ca échang. (cmol+/kg)	Al échang. (cmol+/kg)
Témoin sans P	6	0,31	10,64	9	1,02	2,45
TSP	39	0,63	10,52	45	1,32	2,45
Kunyang Brut	29	1,23	9,94	28	1,71	2,10
K. Sulf 30	35	1,25	9,61	30	1,64	2,11
K. Sulf. Nitr. 30	35	1,21	9,36	30	1,60	2,05
K. Complexe 1	36	1,11	10,04	33	1,48	2,27
Jinning Brut	31	1,25	9,41	20	1,48	2,14
J. Sulf 30	33	1,20	9,64	25	1,50	2,32
J. Sulf. Nitr. 30	32	1,15	9,55	22	1,40	2,10
J. Complexe 1	35	1,07	9,53	25	1,33	2,13

du phosphate super triple (tableau 6). De même, la croissance des plantes sur sol de Yujiang est meilleure avec le phosphate naturel qu'avec le phosphate super triple, alors que les prélèvements de phosphore du sol par les cultures ne montrent pas une aussi grande différence que les productions de matière sèche.

Sur des sols comparables (avec des pH de 5,0 à 5,9), XIONG *et al.* (1995) ont montré, en conditions contrôlées, que certains phosphates partiellement solubilisés produits à partir du phosphate naturel de Jinning (attaque sulfo-phosphorique et sulfurique 60 %) donnaient finalement des productions de ray-grass équivalentes à celles obtenues avec du phosphate monocalcique, même si les assimilations de phosphore étaient moindres. Cependant, il faudra tenir compte des arrière-effets de ces différents produits, qui n'ont pas pu être observés dans ces essais en pots.

### Tests au champ

Des essais agronomiques sur sols acides ferrallitiques rouges ont été mis en place par l'Issas de même que sur des sols de rizière moins acides, en conditions contrôlées avec du blé comme plante test, et au champ, avec du maïs, du soja, du colza, du sarrasin ou de l'arachide. Les phosphates naturels de Kunyang ont confirmé qu'ils étaient plus réactifs que ceux de Jinning. En outre, les phosphates partiellement solubilisés ont donné des augmentations de rendement équivalentes ou supérieures au super

phosphate simple, indépendamment de la provenance du phosphate naturel de départ. Le mélange acide sulfurique + acide phosphorique a donné d'excellents résultats, légèrement inférieurs à ceux dus à l'attaque complexe (MAP + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (tableau 7).

Sur 21 essais, 15 ont montré une réponse positive aux apports de phosphate et 13 sur ces 15 ont montré une réponse aux phosphates partiellement solubilisés équivalente à celle obtenue avec le phosphate entièrement soluble. Ces résultats montrent qu'il est possible de produire des engrais phosphatés efficaces à partir des phosphates naturels de qualité intermédiaire du Yunnan, tout en réduisant le coût de fabrication par une acidifi-

cation limitée (tableau 8). Cependant, des essais en conditions contrôlées de phosphates de Jinning partiellement acidifiés sur des sols calcaires du nord de la Chine ont montré que seule la part soluble de ces produits était efficace pour la nutrition des cultures car la part non solubilisée lors de la fabrication ne se dissout pas dans ces sols à pH basique (pH = 8,5) (XIONG *et al.*, 1994).

## Conclusion

Les actions réalisées dans le cadre de la coopération avec la Chine pour la valorisation de leurs ressources en phosphate naturel ont abouti, sur le plan scientifique, à une meilleure connaissance des phos-

phates naturels de ce pays, de leurs caractéristiques et de leurs possibilités d'utilisation agricole et industrielle. Des échanges de chercheurs et la collaboration instaurée avec les structures chinoises ont permis la présentation des résultats par les chercheurs du Cirad à Agroexpo à Beijing (TRUONG *et al.*, 1992). Sur le plan industriel, deux usines de transformation des phosphates naturels ont été réalisées dans la province du Yunnan, utilisant la technologie et des équipements français, à Chuxiong (ouest de Kunming) et Anning (sud de Kunming).

La capacité installée est de 100 000 tonnes par an pour chacune de ces deux unités. Ces usines fabriquent des engrais

Tableau 7. Phosphates du Yunnan. Teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total et solubilité (% du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total) des phosphates naturels partiellement solubilisés utilisés dans les essais au champ. Résultats au champ exprimés par le coefficient d'efficacité relative des phosphates partiellement solubilisés par rapport au SSP (= 100 %).

	Teneur en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total % produit	Solubilité dans l'eau % du P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	Efficacité % SSP (=100)
Kunyang Sulf Phos 60	31,4	67,0	93
Complexe 1	24,2	29,7	96
Jinning Sulf Phos 60	28,4	59,1	93
Complexe 1	21,4	25,0	95

Tableau 8. Coûts de production en Chine, en 1993, des engrais phosphatés à partir des phosphates naturels de Kunyang et de Jinning (1 \$ = 8,7 yuans environ).

Engrais	Coût en yuans		Coût en dollars
	par tonne d'engrais	par unité de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	par unité de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
SSP (19,5 % de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	179	0,91	0,10
Kunyang SP 60 (31,4 % de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	157	0,50	0,06
Kunyang C 1 (24,2 % de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	144	0,59	0,07
Jinning SP 60 (28,4 % de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	142	0,50	0,06
Jinning C 1 (21,4 % de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	130	0,60	0,07





Transport du minerais extrait du gisement vers l'usine de traitement.  
Cliché B. Truong

complexes NPK à partir de matières premières existantes sur le marché (bicarbonate d'ammonium, urée, phosphates partiellement solubilisés ou fondus, super phosphate simple, phosphate di-ammonique, sulfate de potasse). Une chaîne d'acidulation des phosphates naturels fonctionne dans chacune des unités. Le compactage à sec est utilisé pour la granulation de certains produits incompatibles qui ne peuvent pas être granulés par voie humide. Le tableau 8 indique les coûts de production de différents engrais phosphatés calculés lors du démarrage des usines en 1993. Les phosphates naturels partiellement solubilisés étaient alors très intéressants comparés au phosphate super

simple qui n'apporte que 20 % de  $P_2O_5$ . Après un période de mise en route et de rodage, ces deux usines fonctionnent à pleine capacité et répondent, de manière adaptée, à la demande des autorités locales en matière d'engrais phosphatés et complexes NPK.

## Bibliographie

BAUDET G., TRUONG B., FAYARD C., SISTRAC G., 1986. La filière phosphate : du minerai à l'engrais, principaux points de repère. Chron. Rech. Min. 484 : 19-36.

CHESSON M.W., 1988. China Phosphates, séminaire IFA, Monte Carlo, Monaco, Juin 1988, 29 p.

Fao, 1996. FAO Fertilizer Yearbook, vol. 46, 122 p.



Les partenaires du projet : ISSAS Nanjing, Commission provinciale science et technologie du Yunnan, Cirad.  
Cliché B. Truong

TRUONG B., FAYARD C., 1987. Développement d'engrais à base de phosphates naturels Chine 9 octobre - 2 novembre 1987. Rapport Cirad-irat n° 4, 24 p.

TRUONG B., FAYARD C., DEHONT F., 1992. Coopération en technologie des engrais : une nouvelle technique de valorisation des phosphates de qualité moyenne à faible en Chine. Communication présentée lors de la journée d'étude sur les phosphates à l'Agro Expo China, 1992 à Beijing, Chine, 27 p.

XIE J.C., XING W.Y., ZHOU J.M., 1998. Current use of and requirement for nutrients for sustainable food production in

China. In Nutrient management for sustainable crop production in Asia, Eds Johnston and Syers, proceedings of international conference IMPHOS/CSAR, Bali, Indonésie, 9-12 décembre 1996, p. 267-277.

XIONG L.M., LU R.K., TRUONG B., 1994. An evaluation of the agronomic potential of partially acidulated rock phosphates in calcareous soil. Fertilizer Research 38 : 205-212.

XIONG L.M., LU R.K., TRUONG B., 1995. Agronomic potential of partially acidulated rock phosphates in acid soils of subtropical China. Pedosphere 5 (2) : 97 - 105.

## Résumé... Abstract... Resumen

D. MONTANGE, B. TRUONG — **Valorisation des phosphates naturels pour un usage agricole en Chine.**

Les interventions du Cirad sur la valorisation des gisements de phosphates naturels (PN) en Chine ont débuté en 1987 par une mission d'inventaire des gisements et des usines de transformation. La Chine possède des réserves de phosphate naturel très importantes (4<sup>e</sup> rang mondial), mais la plupart ont une faible réactivité. Elle consommait alors 3 millions de tonnes de  $P_2O_5$  et en produisait 2,4 millions de tonnes, avec une forte proportion de produits à faible teneur en  $P_2O_5$ . Afin de mieux valoriser ses gisements de phosphates, la Chine a décidé, dans les années 80, de produire des engrais ayant de forts titres en phosphore. Cependant, pour préparer de tels produits, les PN doivent être riches en phosphore et pauvres en silice et en impuretés. Des phosphates partiellement solubilisés ont été produits à partir de phosphate naturel du Yunnan. Des échantillons de PN ont été transportés en France pour caractérisation et les formules préparées ont été testées au Cirad. Des essais agronomiques sur sols acides rouges et sur sols de rizière inondée moins acides ont été ensuite mis en place en Chine. Les formules les plus adaptées sont maintenant produites dans deux usines de transformation mises en route dans la province du Yunnan.

Mots-clés : technologie engrais, ressource naturelle, phosphate naturel, solubilisation partielle, Chine, Yunnan.

D. MONTANGE, B. TRUONG — **Rock phosphate use for agricultural purposes in China.**

CIRAD's work on the rock phosphate (RP) deposits in China began in 1987 with an inventory of the deposits and processing factories. China has considerable RP deposits (it ranks fourth in the world), but their reactivity is generally poor. At the time, the country was consuming 3 Mt of  $P_2O_5$  and producing 2.4 Mt, with a high proportion of products with a low  $P_2O_5$  content. To make more effective use of its RP resources, China decided in the 1980s to produce high phosphorus-content fertilizers. However, to make such products, the RP have to be rich in phosphorus and poor in silica and impurities. Partially solubilized phosphates were produced from RP from Yunnan province. RP samples were sent to France for characterization, and the formulas prepared were tested by CIRAD. Agronomic trials were subsequently set up on red acid soils and less acid rice paddy soils in China. The best formulas are now being manufactured in two new processing factories in Yunnan.

Keywords: fertilizers, natural resources, rock phosphate, partial dissolution, China, Yunnan.

D. MONTANGE, B. TRUONG — **Valorización de las rocas fosfóricas para un uso agrícola en China.**

Las intervenciones del Cirad sobre la valorización de los yacimientos de rocas fosfóricas (RF) en China empezaron en 1987 por una misión de inventario de los yacimientos y de las fábricas de procesamiento. China posee reservas de RF muy importantes (4<sup>o</sup> rango mundial), pero la mayoría tiene una baja reactividad. Consumía entonces 3 millones de toneladas de  $P_2O_5$  y producía 2,4 millones de toneladas, con una fuerte proporción de productos de bajo contenido de  $P_2O_5$ . A fin de valorizar mejor estos yacimientos de fosfatos, China decidió, en los años 1980, producir abonos teniendo fuertes títulos de rocas fosfóricas. No obstante, para preparar semejantes productos, las RF deben ser ricas de fósforo y pobres de silicio y de impurezas. Se produjeron fosfatos parcialmente solubilizados a partir de RF de Yunnan. Muestras de RF fueron transportadas en Francia para caracterización y las fórmulas preparadas fueron sometidas a prueba en el Cirad. Luego se instalaron en China ensayos agronómicos en suelos ácidos rojos y en suelos de arrozal inundado menos ácidos. Las fórmulas más adaptadas son ahora producidas en dos fábricas de procesamiento puestas en marcha en la provincia de Yunnan.

Palabras-claves: abonos, recursos naturales, rocas fosfóricas, solubilización parcial, China, Yunnan.