

# Fiches détaillées

## Les Phosphates<sup>1</sup>

**Christine Bonnet**

**Ingénieur en traitement des minerais, SNC-Lavalin Inc.**

### Une substance indispensable à la vie...

Le phosphore est un constituant essentiel de la matière vivante qui en contient de 0,1 à 1 %. Les végétaux prennent leur phosphore dans le sol où il est apporté sous forme d'engrais produits à partir de phosphates minéraux. Le phosphore est présent dans les roches essentiellement sous forme de minéraux complexes de phosphates de calcium et d'autres métaux accessoires.

### Un minéral, l'apatite et des éléments phosphatés variés

Les minerais d'origine magmatiques sont caractérisés par la présence de grains d'apatite bien cristallisés dans le système hexagonal, avec des dimensions allant de quelques dizaines de microns jusqu'à quelques millimètres. La structure cristallographique permet de distinguer la fluorapatite  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ , de l'hydroxylapatite  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$  et de la chloroapatite  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ .

La matière phosphatée des minerais sédimentaires présente une cristallisation extrêmement fine ; les cristallites ont généralement des dimensions bien inférieures au micron. Dans le réseau de ces micro-cristaux, de très nombreuses substitutions (concernant des sites occupés normalement par P, Ca, F) sont possibles :  $\text{PO}_4$  remplacé par  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_3$  ou  $\text{SiO}_4$ , F par OH, Ca par Mg, Al, Fe, K, Na, Sr, U, Th ou des terres rares.

Les éléments phosphatés individualisés des minerais sédimentaires sont visibles à l'œil nu ou au microscope et ils se présentent sous différents types que l'on peut classer en fonction de leur forme, de leur taille et de leur structure interne :

- débris osseux (os, dents, pièces dermiques) ;
- tests d'invertébrés phosphatisés, à l'origine siliceux ou calcaires ;
- moules internes, loges de tests de certains organismes (foraminifères, gastéropodes) remplies de matière phosphatée et dont les parois ont été dissoutes ;
- coprolithes cylindriques ou ovoïdes de plusieurs millimètres qui sont des excréments de divers organismes phosphatisés ;
- grains avec une structure concentrique : oolithes, onchoïdes et grains enrobés ;
- agrégats ou grains composites : très fréquents, les grains composites sont constitués de particules très diverses incluses dans un ciment phosphaté.

Mine de guano  
dans les Iles Chinchua [source DR]



### Deux grandes familles de gisements

Le phosphate de calcium se trouve dans des roches magmatiques et dans des roches sédimentaires de différents âges. Ces roches peuvent avoir été plus ou moins métamorphosées ou remaniées, altérées ou lessivées.

**Les gisements d'origine magmatique dits ignés** sont les moins nombreux et fournissent environ 12 % de la production mondiale des concentrés.

Le plus important est situé dans la péninsule de Kola, à l'extrême Nord-Ouest de la Russie ; les gisements sont associés à des intrusions alcalines, le plus souvent, il s'agit de syénites néphéliniques à cœur de carbonatites. Parmi les autres gisements de carbonatites à apatite, on trouve les gisements du Canada, Jacupiranga au Brésil, Siilinjärvi en Finlande ou Phalaborwa en Afrique du Sud.

**Les gisements sédimentaires** représentent la plus grande partie des réserves mondiales. Ils appartiennent à différentes époques géologiques. Les gisements les plus importants sont Cambrien (Chine, Kazakhstan, Vietnam, Mongolie), Permien (Utah, Montana, Idaho, Wyoming aux Etats-Unis), Crétacé supérieur (Moyen-Orient, Egypte), Eocène (gisements d'Afrique du Nord et d'Afrique Noire), Mio-Pliocène (Floride et Caroline du Nord aux Etats-Unis).

**Les gisements de type "guano"** sont superficiels ; sous l'influence des pluies, l'acide phosphorique des excréments des oiseaux attaque les calcaires sous-jacents et forme des dépôts de phosphate de calcium. Les réserves de ce type sont presque épuisées ou ne sont pas exploitées pour des raisons environnementales comme l'atoll corallien de Mataïva en Polynésie.

**Des phosphorites**, constituées de nodules de dimensions très variables, sont trouvées le long de certaines côtes sur le plateau continental. Elles sont très peu exploitées actuellement.

Certains gisements de fer précambriens présentent une teneur en apatite significative qui est valorisée comme Kiruna Vaara en Suède.

### Une exploitation principalement à ciel ouvert...

La grande majorité des sites d'extraction de phosphate sont des mines à ciel ouvert mais on rencontre aussi des exploitations souterraines, plus souvent pour les gisements d'origine magmatique, mais aussi dans certains cas pour les gisements sédimentaires. L'exploitation à ciel ouvert se fait le plus souvent à la pelle mécanique et parfois à la drague lorsque le gisement se trouve en partie dans l'aquifère. Des tirs sont dans certains cas nécessaires pour extraire les minerais les plus indurés et les matériaux de découverte.

### ...suivie par des procédés de traitement plus ou moins complexes

Les minerais de phosphate sont rarement suffisamment réactifs pour être utilisés en application directe sur les sols: dans la plupart des cas, il convient de les solubiliser par une attaque acide.

Pour être aptes à une utilisation dans l'industrie des engrais pour la production d'acide phosphorique, les concentrés doivent avoir une teneur en  $P_2O_5 > 30\%$ , des teneurs minimales en chlorures, sulfures, matière organique, ainsi que des rapports

$Fe_2O_3 + Al_2O_3 + MgO / P_2O_5 < 0,09\%$  environ et  $CaO / P_2O_5 < 1,60$  environ.

Pour répondre à ces spécifications, l'enrichissement consiste, en utilisant les procédés les moins onéreux possibles, à libérer les constituants minéraux puis à séparer au maximum les impuretés libres par voie physique et ainsi concentrer les éléments phosphatés.

**Pour les minerais d'origine magmatique** non altérés, le problème de l'enrichissement est généralement résolu par un broyage suivi de flottation pour séparer apatite et néphéline ainsi qu'apatite et carbonates (dolomite, calcite).

**Pour les minerais sédimentaires**, l'enrichissement nécessite des solutions plus originales et souvent plus complexes.

Le traitement retenu dépendra de la nature des impuretés et de leur localisation à l'intérieur même des éléments phosphatés (endogangue) ou dans les autres minéraux qui constituent le minerai (exogangue).

Si le minerai est peu consolidé, la libération des éléments phosphatés des autres particules pourra s'effectuer :

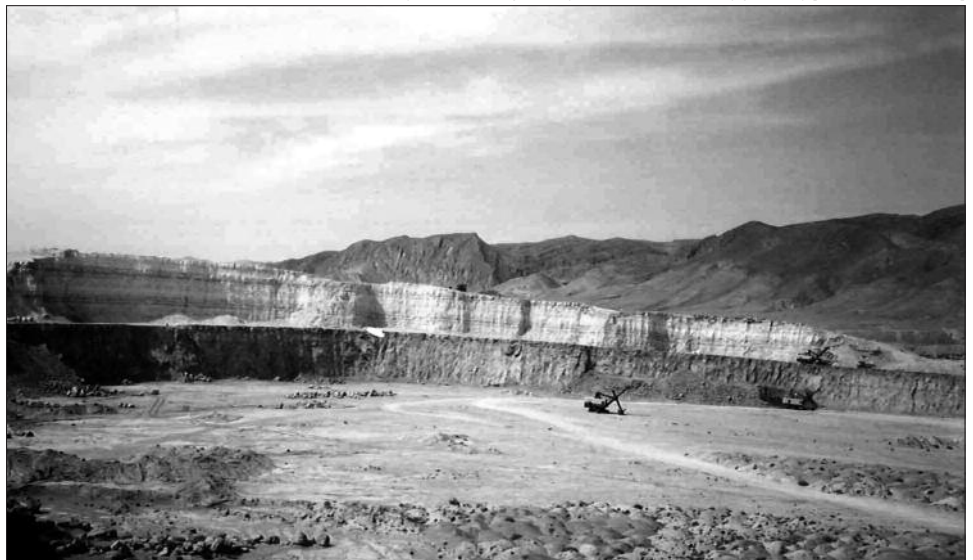
- soit par voie sèche par attrition et classifications granulométriques (criblage, sélection pneumatique) ;
- soit par voie humide si le minerai est argileux par débouillage et classifications granulométriques (criblage, hydrocyclones, hydroclassificateurs). Elle permet en outre d'abaisser la teneur en chlore.

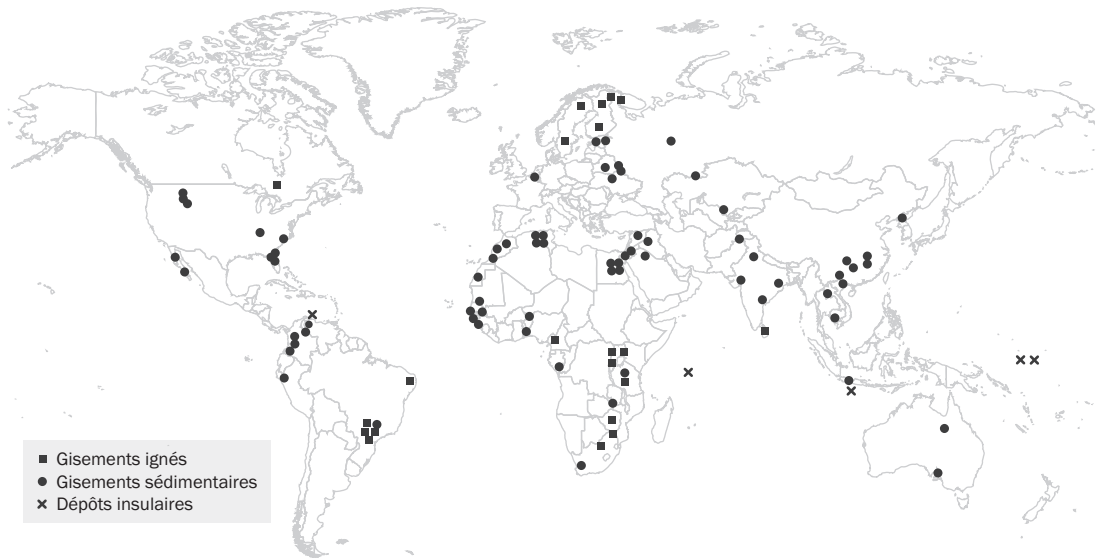
Si le minerai est compact, ou contient une certaine proportion de morceaux compacts, le traitement débute par une ou plusieurs étapes de concassage ou/et de broyage, le broyage étant parfois sélectif.

Dans bien des cas, une étape de flottation est nécessaire pour séparer le quartz et les autres minéraux silicatés contenus dans l'exogangue des éléments phosphatés. Le phosphate est flotté directement en utilisant un mélange d'acide gras et de diesel.

Parfois le concentré de flottation directe est épuré par une flottation cationique pour éliminer le quartz fin résiduel.

Carrière d'exploitation de phosphates de Djemi Djema Ouest, Djebel Onk, Algérie, de l'E.N. Ferphos. Couche de phosphate de 25 à 28 m d'épaisseur. Série d'âge Paléocène supérieur (Thanétien supérieur) à Eocène inférieur (Yprésien) [Source JPP BRGM]





Répartition mondiale des gisements de phosphates

La flottation des minerais à gangue carbonatée a nécessité de longues années de recherche et elle vient récemment de passer au stade industriel en Chine, en Arabie Saoudite (Al Jalamid), au Moyen Orient et aux Etats-Unis, ce qui ouvre la voie à l'exploitation des gisements sédimentaires à gangue carbonatée qui représentent les trois quarts des réserves mondiales.

Divers procédés ont été expérimentés : flottation inverse ou directe des phosphates, flottation combinée anionique des carbonates et cationique des phosphates.

Les techniques de séparation magnétique, en voie sèche ou en voie humide, sont utilisées pour éliminer la magnétite à basse intensité et des oxydes de fer paramagnétiques, tel que l'hématite, par séparation magnétique à haute intensité ou à haut gradient.

La calcination à température moyenne vise à éliminer la matière organique et la pyrite comme à Youssoufia au Maroc.

A plus haute température, entre 700 °C et 1.000 °C, la calcination dissocie les carbonates qui sont ensuite récupérés par une hydratation de la chaux et de la magnésie libre contenue dans la décharge du four. C'est le seul procédé qui permette d'éliminer des impuretés contenues à l'intérieur des éléments phosphatés (endogangue).

Ce procédé complexe et énergivore est utilisé dans quelques installations comme celle du Djebel Onk en Algérie mais il se justifiera de plus en plus difficilement avec le développement de la flottation et les contraintes sur les émissions de CO<sub>2</sub>. Il présente de plus l'inconvénient de diminuer la réactivité du phosphate lors de l'attaque acide.

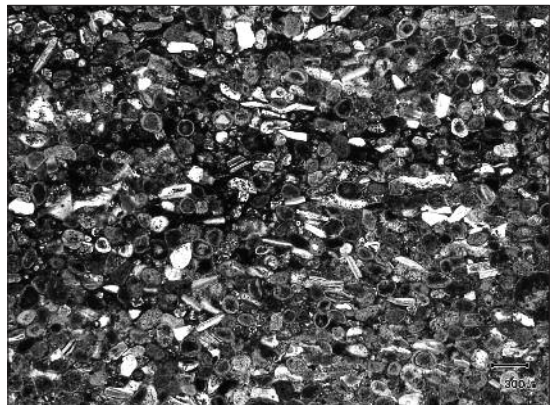
### Une utilisation prépondérante pour la fabrication des engrais :

Les concentrés de phosphate sont utilisés à près de 90 % sous forme d'engrais et pour le reste comme apport phosphoré dans la nourriture animale ou pour d'autres usages comme la production de phosphore élémentaire en chimie indispensable à la fabrication d'acide phosphorique de haute pureté demandé entre autres par l'industrie alimentaire comme agent de conservation. Parmi les autres usages, on peut citer les agents anticorrosion, les fongicides, le traitement des eaux et la métallurgie.

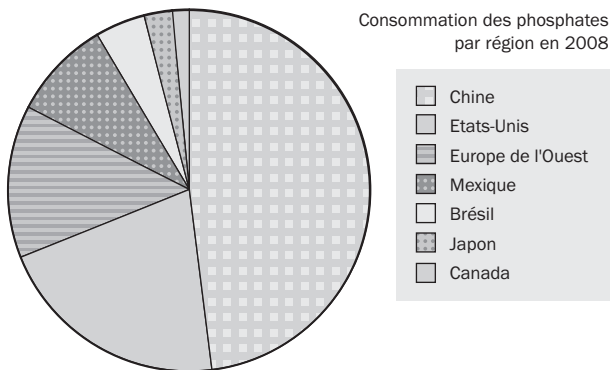
De plus en plus, les pays producteurs de minerai, qu'il s'agisse des producteurs majeurs (Maroc, Etats-Unis, Chine) ou de producteurs moins importants (Tunisie, Afrique du Sud, Brésil...) se sont développés vers l'aval en investissant dans

la fabrication de produits finis, acide phosphorique et engrais phosphatés.

La production mondiale des minerais de phosphate est évaluée à 181 Mt en 2010 et elle est revenue au niveau d'avant la crise économique de 2008 qui a affecté le marché des engrais.



Microphotographie en lumière naturelle d'un minerai de phosphate du Djebel Onk. Biopelphospharénite fine à grains phosphatés divers de 100 à 300 microns : microcoprolithes, pseudo-oolithes, phyto- et zooplancton épigénisés en phosphate, débris osseux [Source JPP BRGM]



La demande s'est fortement déplacée vers l'Asie du Sud-est (Chine, Inde) ce qui entraîne une augmentation des prix, la Chine ayant de plus souhaité privilégier son marché intérieur en taxant ses exportations de phosphore.

La Chine est aujourd'hui le premier producteur mondial de phosphates (estimation 68 Mt en 2010) et d'acide phosphorique ainsi que des engrais dérivés DAP et MAP.

Le Maroc et les Etats-Unis viennent ensuite avec 25,8 Mt chacun, le trio de tête des pays producteurs représentant 66 % de la production mondiale.

Les Etats-Unis sont les premiers importateurs de minerais de phosphate qu'ils transforment en engrais dont ils sont ensuite les premiers exportateurs mondiaux avec 25 % des volumes exportés à l'échelle mondiale. Ils enregistrent en revanche une décroissance de leur production, très majoritairement issue de Floride et de Caroline

du Nord du fait de la diminution des réserves exploitables économiquement et des contraintes environnementales.

L'Inde est un importateur massif de tous ces produits du fait de sa démographie et de la faiblesse de sa production de minerai (environ 1,2 M/t par an).

Le panorama de l'approvisionnement asiatique sera sensiblement modifié avec l'émergence de l'Arabie Saoudite comme producteur significatif à l'horizon 2012-2014.

La consommation dans nos pays occidentaux a tendance à diminuer de façon significative, la décroissance étant de l'ordre de 50 %.

Mosaic Company est la société la plus importante qui produit 56 % de l'acide phosphorique aux Etats-Unis et possède 13 % de la capacité de production mondiale.

## Références bibliographiques

POUTHIER Gilbert, La minéralurgie des minerais de phosphate, Sofremines, 1996

TOURNIS Véronique et RABINOVITCH Michel, Les ressources naturelles pour la fabrication des engrais : une introduction, 2010

USGS 2010 Minerals Yearbook Phosphate Rock [Advance Release]